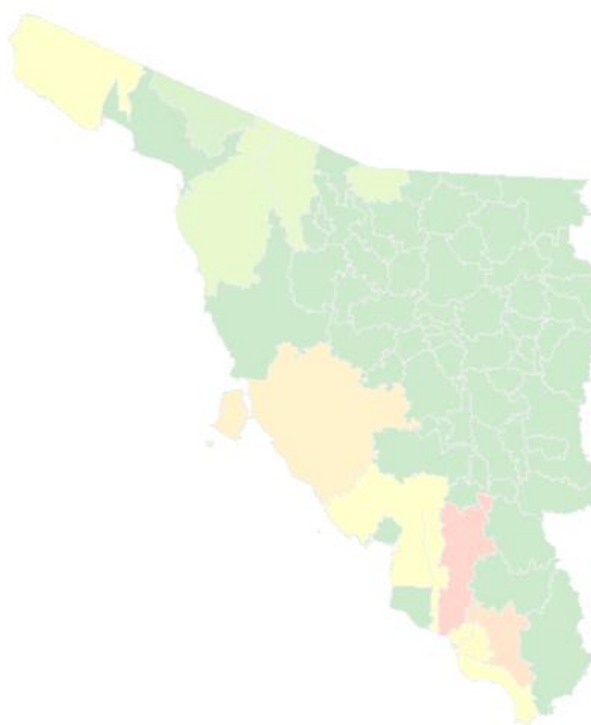

Inventario de recursos energéticos de biomasa biodegradable en Sonora, México



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Institut Universitari de Recerca en Ciència
i Tecnologies de la Sostenibilitat

Trabajo Final de Máster**Universidad Politécnica de Cataluña**

Instituto de Sostenibilidad

Director Instituto de Sostenibilidad:

Jordi Segalàs Coral

Título:

Inventario de recursos energéticos de biomasa biodegradable en Sonora, México

Autor:

Uziel Salvador López Gálvez

Director Trabajo Final de Máster:

Xavier Flotats Ripoll

Barcelona, Junio del 2015**Agradecimientos:**

Al Instituto de Sostenibilidad de la UPC por haberme brindado conocimiento y experiencia.

Al tutor del presente trabajo por su apoyo, dedicación y sugerencias.

A las personas que me ayudaron a lo largo de este trabajo al aportar información necesaria desde México.

Al CONACYT por darme la oportunidad de desarrollarme académicamente.

A Barcelona, mi segundo hogar.

A mi familia y amigos por brindarme su apoyo y cariño incondicional hoy y siempre.

Resumen

La digestión anaerobia es un proceso biológico en donde, gracias a la ausencia de oxígeno y a la acción de ciertas bacterias, la materia orgánica se descompone y produce un gas combustible rico en metano (CH_4 entre 50 y 70%), al cual se le asigna el nombre de biogás. Para obtener el máximo provecho a esta digestión se utilizan digestores en donde se controlan los parámetros que intervienen en la descomposición de los materiales orgánicos durante el proceso.

Gracias a su elevado porcentaje de metano el biogás es susceptible de ser usado para aprovechamiento energético mediante su combustión en calderas, motores o turbinas. Por lo anterior esta tecnología es idónea para reducir los gases de efecto invernadero a la atmósfera, para tratar y gestionar residuos orgánicos de las diversas industrias y sectores productores que los generan (residuos ganaderos, residuos agrícolas, la fracción orgánica de los residuos municipales e industriales, los lodos producidos por las depuradoras de aguas residuales) así como también para el aprovechamiento energético de esos recursos.

Para el presente trabajo se tomó como muestra el estado de Sonora, México, en donde, mediante la realización de un inventario de recursos orgánicos, susceptibles de producir biogás, y a través de diversas hipótesis adoptadas, se llegó a la conclusión que el potencial total disponible en el Estado mediante digestores anaerobios es de aproximadamente 883,714.97 toneladas equivalentes de petróleo (TEP) al año entre todas las posibles fuentes de materia orgánica biodegradable. Sin embargo a lo anterior, cabe mencionar que, aunque disponible, no toda esa materia está al alcance para darle un uso deseado por lo que también se calculó, a partir de la materia total disponible, la materia accesible que dio como resultado un total de 738,327.71 TEP.

A partir de los cálculos anteriores se pudo observar también que las zonas más propensas para la generación de biogás mediante esta tecnología son la centro y la sur, conformadas por los municipios de Cajeme, Navojoa, Hermosillo, Etchojoa, Benito Juárez, Bácum, Huatabampo y Guaymas, los cuales en conjunto aportarían alrededor del 93% del potencial energético accesible al año.

Índice

1. Introducción.....	7
1.1 Origen del proyecto.....	8
1.2 Motivación	8
1.3 Objetivos	9
2. Tecnologías y recursos.....	10
2.1 La digestión anaerobia	10
2.2 Etapas de la digestión anaerobia	11
2.3 Digestión anaerobia de residuos ganaderos.....	13
2.3.1 Aplicación de la digestión anaerobia a purines de cerdo.....	13
2.3.2 Aplicación a de la digestión anaerobia a estiércol de bovinos.....	13
2.3.3 Aplicación de la digestión anaerobia a la gallinaza	14
2.4 Digestión anaerobia de lodos de depuradora.....	14
2.5 Digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM)	15
2.6 Digestión anaerobia de residuos industriales orgánicos.....	16
2.7 Digestión anaeróbica de residuos agrícolas.....	18
3. El Estado de Sonora	19
3.1 Antecedentes	20
4. Metodología y documentación base	21
4.1 Documentación base:.....	21
4.2 Estimación del potencial de metano por residuo	22
4.3 Residuos ganaderos	22
4.3.1 Ganado bovino	23
4.3.2 Ganado porcino	24
4.3.3 Sector avícola	25
4.4 Fracción orgánica de residuos municipales.....	25
4.5 Lodos de plantas depuradoras	26
4.6 Residuos orgánicos industriales	26
4.7 Residuos agrícolas	26
5. Potencial total disponible de producción de biogás en Sonora.....	28
5.1 Potencial disponible de deyecciones ganaderas.....	30

5.2	Potencial disponible de la fracción orgánica de los residuos municipales	31
5.3	Potencial disponible de lodos de depuradora	33
5.4	Potencial disponible de residuos orgánicos industriales	34
5.5	Potencial disponible de residuos agrícolas	36
6.	Potencial accesible para la producción de biogás en Sonora	38
6.1	Potencial accesible de deyecciones ganaderas.....	39
6.2	Potencial accesible de la fracción orgánica de los residuos municipales	41
6.3	Potencial accesible de lodos de depuradora.....	42
6.4	Potencial accesible de residuos orgánicos industriales	44
6.5	Potencial accesible de residuos agrícolas	45
7.	Estimación de la generación eléctrica.....	47
7.1	Procedimiento para el cálculo de la energía cogenerada a partir de biogás.....	47
7.2	Energía térmica recuperada de los gases del motor de combustión.....	48
7.3	Agua de enfriamiento.....	48
7.4	Energía eléctrica recuperada a partir del biogás	49
8.	Aprovechamiento de la energía	50
9.	Conclusiones	52
10.	Bibliografía.....	54
11.	Anexos.....	56
11.1	Anexo 1: TEP disponibles y accesibles totales.....	56
11.2.	Anexo 2.....	78

1. Introducción

En la actualidad la demanda de insumos dentro de las ciudades y zonas conurbadas de las mismas es mucho más alta que en décadas pasadas. Lo anterior se debe no solo al aumento de la población en las ciudades, si no también a otros factores como son la industrialización de los procesos, la variabilidad de la demanda de los productos así como también debido a los procesos socioeconómicos que se viven en cada región. Lo anterior da como resultado, como ya se mencionó antes, que los insumos para satisfacer las necesidades de las personas que habitan ese lugar aumenten, lo que propicia a la vez el aumento en la cantidad de residuos que se generan. Entre los residuos generados se encuentran los de origen orgánico, en específico, los que se enfoca este trabajo, son los provenientes de los sectores ganadero, agrícola, agroindustrial, de los residuos sólidos urbanos así como de las plantas depuradoras de aguas.

En el caso del Estado de Sonora, así como en el resto de las Entidades Federativas, la legislación vigente aplicable a nivel federal para la gestión de residuos es la *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*, en donde se establece lo siguiente: “Son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación”. A partir de lo anterior se establecen varios artículos en donde se asientan las bases y los principios de esta ley así como las atribuciones que le corresponden a cada uno de los 3 niveles de gobierno (Federal, Estatal y Municipal) para aplicarlos. Por lo anterior cabe mencionar entonces que aunque a partir de esta ley la federación marca las pautas a seguir respecto al tema, los gobiernos estatales y municipales son los que deciden el cómo hacerlo como se menciona en el artículo 9:

Son facultades de las Entidades Federativas:

Formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar de manera coordinada con la Federación los programas en materia de residuos de manejo especial, acordes al Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial y el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados, en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, establecido en el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

A partir de lo anterior y debido a que cada Entidad tiene el deber de llevar a cabo y ejecutar políticas para la gestión de los residuos en congruencia con las leyes federales, el estado de Sonora elaboró en el año 2013 el *Programa de Prevención y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Sonora (PEPGIR-SONORA)*. En tal programa se incluye un diagnóstico sobre el manejo de los residuos sólidos urbanos y los residuos de manejo especial, el

estado actual de la infraestructura para su gestión así como la composición y generación de los mismos.

A partir del análisis anterior se definió una nueva política en el estado así como los principios y estrategias para regirla. La nueva política se define de esta manera:

“Garantizar el derecho de toda persona a un ambiente adecuado y coadyuvar al desarrollo sustentable de Estado de Sonora, a través de la gestión integral de los residuos, con énfasis en la reducción en su generación y fomento al consumo ambientalmente responsable de productos, servicios y procesos, la valorización y aprovechamiento de los subproductos, mediante la implementación de estrategias tendientes a prevenir y controlar los impactos al ambiente y a la salud humana, bajo un sistema de gestión integral enfocada a la mejora continua y la responsabilidad compartida, pero diferenciada entre los distintos actores”.

1.1 Origen del proyecto

El Instituto de Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Cataluña define su misión de la siguiente manera: “La misión del Instituto es la generación de las herramientas técnicas y conceptuales necesarias para ayudar a transformar nuestro modelo productivo hacia la sostenibilidad, y la colaboración, en esta dirección, en la tarea de la UPC de apoyo científico y técnico al progreso social, cultural y económico de la sociedad”. Debido a lo anterior, y a que gracias al esmero del Instituto por incentivar la promoción de la cultura de la sostenibilidad dentro de todos los ámbitos de la sociedad así como entre los alumnos que cursan el máster en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad, este trabajo de fin de máster surge como una propuesta de cambio al modelo producción, gestión y uso de los residuos orgánicos que actualmente se generan en Sonora para así aprovechar sus características y potencial energético para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

1.2 Motivación

Identificar, caracterizar, cuantificar, evaluar y ubicar los diferentes materiales orgánicos susceptibles para ser tratados por digestión anaerobia en algún lugar específico son algunos de los pasos a seguir para poder conocer el potencial energético de cada uno de esos residuos, poder ubicarlos dentro del territorio así como también para conocer la viabilidad de este tipo de proyectos. Por lo anterior, en el presente trabajo se han identificado, caracterizado, cuantificado, evaluado y ubicado los residuos orgánicos provenientes de 4 grandes ámbitos dentro del Estado de Sonora: ganadería, agricultura, residuos sólidos urbanos y tratamiento de aguas.

1.3 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es estimar el potencial que tiene el Estado de Sonora para producir biogás a partir de la biomasa biodegradable proveniente de distintos focos generadores de materia orgánica mediante la tecnología de digestión anaerobia.

Para alcanzar el objetivo anterior se busca también cumplir con ciertos objetivos específicos como lo son la creación de un inventario sobre los potenciales recursos energéticos en la entidad; investigar la disponibilidad, accesibilidad y tipología de tales potenciales recursos energéticos; así como también la realización de un análisis de viabilidad en base al inventario hecho. Finalmente se busca también crear mapas, a partir de los datos recopilados y analizados, para ubicar geográficamente las áreas con mayor potencial y así sugerir proyectos emblemáticos para la región utilizando esta tecnología.

2. Tecnologías y recursos

2.1 La digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico en ausencia de oxígeno en donde intervienen microorganismos que descomponen cierta parte la materia orgánica lo que da como resultado biogás y digestato. El biogás producido a partir de esta tecnología está conformado por un alto grado de metano (CH_4 entre 50-70 % del total). La potencia calorífica inferior de este gas ronda las 5500 Kcal/m³ por lo que resulta una opción viable para potenciar el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos (Flotats, 2007).

Este tipo de digestión puede aplicarse a múltiples residuos diferentes que provienen de las diversas áreas de una región; estos incluyen:

- Deyecciones ganaderas
- Fracción orgánica de los residuos urbanos
- Lodos de depuradoras
- Residuos orgánicos industriales
- Residuos agrícolas

A partir del aprovechamiento del biogás obtenido de estos materiales mediante la digestión anaerobia se general múltiples beneficios como son:

- La producción misma de energía renovable
- Generación de subproductos como pueden ser fertilizantes
- Reducción de malos olores
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Propiciar la gestión adecuada de los residuos

Sin embargo a los beneficios antes mencionados cabe recalcar que el buen funcionamiento para la generación del biogás depende de múltiples factores que pueden afectar en menor o mayor medida el rendimiento del generador. Se debe mencionar también que los costos para la aplicación de esta tecnología pueden resultar elevados en función del sistema usado en el digestor.

Dentro de los factores ambientales que tienen influencia dentro del proceso de generación de biogás se encuentran los siguientes:

- Ph y alcalinidad
Se ha de mantener neutro o lo más cercano.
- Alcalinidad:

Es recomendable una alcalinidad superior a 1.5 g CaCO_3/L para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación.

- **Potencial redox:**
Los valores recomendables son inferiores a -350 Mv.
- **Nutrientes:**
La relación C/N ha de ser entre los valores 15/1 y 45/1, con un valor recomendable de 30/1. Valores muy superiores o muy inferiores pueden crear problemas de inhibición o de bajada de la velocidad de reacción. Para el fósforo la relación C/P óptima se encuentra alrededor de 150/1.
- **Tóxicos inhibidores:**
La concentración de estas sustancias debe ser mínima. Entre ellos el amoníaco es el inhibidor más importante en las deyecciones ganaderas.
- **Temperatura:**
La digestión anaerobia se puede realizar en tres rangos diferentes de temperatura: psicrófilo, por debajo de los 20°C; mesófilo, entre 30°C y 40°C; y termófilo, entre 50°C y 70°C. A mayor temperatura aumenta la producción de bacterias y por lo mismo la producción de gas, aunque puede aumentar el efecto adverso de algunos inhibidores. Sólo tendrá sentido operar a alta temperatura si el potencial de producción de biogás del residuo a tratar es suficientemente elevado para mantener estas temperaturas.
- **Tiempo de retención:**
El tiempo de reacción se define como el tiempo que el sustrato permanece en el reactor sometido a la acción de microorganismos. Hay un tiempo de retención mínimo por debajo del cual no es posible el proceso.
Este tiempo deberá de ser como mínimo el correspondiente a la inversa de la velocidad máxima de crecimiento de los microorganismos (tiempo de generación).
- **Carga orgánica:**
La velocidad de carga orgánica es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el reactor. Depende de la composición del sustrato y del tiempo de retención.

2.2 Etapas de la digestión anaerobia

En el proceso de degradación del sustrato orgánico por el método de digestión anaerobia existen tres fases diferenciadas en donde intervienen diversos tipos de bacterias como se puede observar en la figura 1. 1.

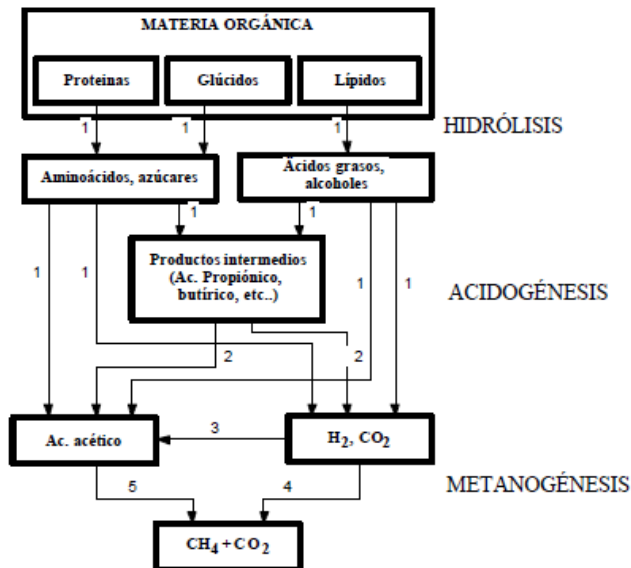


Figura 2.1. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Las poblaciones de microorganismos se caracterizan por y contar cada una de ellas con diferente velocidad de crecimiento así como también por contar con diferente sensibilidad a cada compuesto inhibidor que interviene en el proceso. Lo anterior da como resultado que en cada etapa se presenten diferentes velocidades de reacción según el tipo de sustrato y que se requiera un equilibrio en el proceso que evite la acumulación de inhibidores. Esto implica que regularmente el comienzo del funcionamiento de los reactores sea lento. En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Con esto se pueden conseguir sistemas con tiempo de proceso del orden de días. Para residuos en los que la materia orgánica esté en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas. Usualmente, esta limitación hace que los tiempos de proceso sean del 19 orden de semanas, de dos a tres. Para aumentar la velocidad, una de las estrategias es el pretratamiento para disminuir el tamaño de partículas o ayudar a la solubilización (maceración, ultrasonidos, tratamiento térmico, alta presión, o combinación de altas presiones y temperaturas).

2.3 Digestión anaerobia de residuos ganaderos

Según el censo estatal del año 2013 correspondientes al tema agropecuario, al de la industria lechera, el de corrales de engorda para ganado bovino y porcino, así como también según el censo avícola, en Sonora existen alrededor de 1, 353,263 cabezas de ganado bovino, 1, 673,311 cabezas de ganado porcino, así como 12, 372,349 gallinas ponedoras, todas ellas repartidas y criadas de diferente manera a través del territorio sonorense. Lo anterior no da una idea del potencial que tiene Sonora para crear biogás a partir de este tipo de residuos.

2.3.1 Aplicación de la digestión anaerobia a purines de cerdo

La composición de los purines de cerdo es muy variable ya que depende de muchos factores entre los que destacan la especie animal, el estado fisiológico, época del año, sistemas de limpieza o recogida de los purines, gestión del agua, edad del animal, etc.

Sin embargo a lo anterior, los purines de cerdo se caracterizan por:

- Contenido elevado de agua, superando fácilmente el 90% del total. Este es el principal limitante para su transporte ya que el contenido de sólidos totales (ST) es muy bajo.
- Contenido bajo de materia orgánica. Este parámetro se mide a partir de la cantidad de sólidos volátiles (SV) o bien a partir de la demanda química de oxígeno (DQO). La relación SV/ST es muy importante ya que indica la fracción de sólidos asimilables para ser degradados. Un contenido bajo de materia orgánica significa una producción de gas baja.
- Contenido alto de nitrógeno amoniacal. El nitrógeno amoniacal representa alrededor del 75% del nitrógeno total.
- Contenido apreciable de fósforo y potasio los cuales son necesarios para los cultivos.
- Contenido apreciable de cobre y zinc.

El potencial máximo de producción de metano a partir de purines de cerdo se considera de 0.45 m³ de CH₄/kg SV (Hill, 1982). Sin embargo lo anterior, depende del tiempo de retención que pasa la materia orgánica en el reactor, por lo que el valor real de producción de metano se verá afectado. Se estima en general, que la descomposición controlada alcanza un 60% de la materia orgánica (Flotats, 2007).

2.3.2 Aplicación a de la digestión anaerobia a estiércol de bovinos

La composición del estiércol de bovino no es tan variable en comparación a los purines de cerdo. Su contenido orgánico es mayor, sin embargo el potencial de producción de biogás es menor ya

que se considera que el potencial máximo es de 0.35 m³ de CH₄/kg (Hill, 1982). Al aplicar el 60% como máximo de producción en condiciones controladas el potencial máximo aportado por Hill baja.

2.3.3 Aplicación de la digestión anaerobia a la gallinaza

La gallinaza se puede separar en dos tipos según el origen del mismo. El primero es la gallinaza que se produce con cama que generalmente proviene del sector del engorde de pollo; el segundo es la gallinaza proveniente de las gallinas ponedoras. El primer tipo usualmente contiene paja, aserrín, madera, entre otros materiales que hacen que se presenten problemas de manejo para el proceso de digestión anaerobia. Por otra parte la gallinaza proveniente de gallinas ponedoras usualmente no presenta otros compuestos por lo que presenta un mejor nivel de manejo, mayor humedad y menos materiales impropios (Flotats, 2007). En cuanto a su producción máxima de metano es de 0.39 de CH₄/kg (Hill, 1982).

2.4 Digestión anaerobia de lodos de depuradora

Según los cálculos que se han hecho en este trabajo a partir de datos públicos del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Operación, Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación del año 2013 y tomando en cuenta que en el Estado de Sonora se utilizan diversos métodos para el tratamiento de aguas residuales, se llegó a concluir que en el Estado hay una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 39175.24 toneladas al año. Se llegó al dato anterior a partir de que se considera que la DBO del agua residual municipal es de 0.00022 kg/L de agua residual tratada (ANAM, 2003). Se considera también que los kilogramos de metano producido por cada kilogramo de DBO dependen directamente de la tecnología usada para depurar las aguas. En la gráfica 2.2 se exponen los valores que se consideran para las diferentes tecnologías.

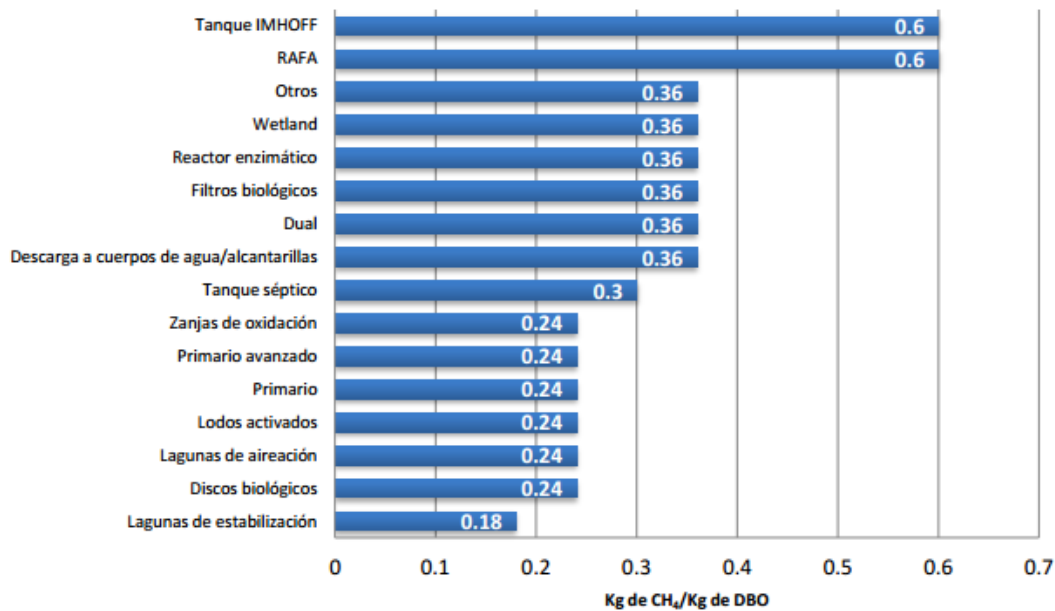


Figura 2.2 Factores de emisión de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas.
Fuente: Instituto Nacional de Ecología de México, 2013

2.5 Digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM)

El contenido de materia orgánica representa un porcentaje muy alto del total de residuos sólidos municipales. Según datos del Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Sonora (PEPGIR) la materia orgánica es predominante en el estado con un 45.65%, le siguen el papel y cartón con el 13.09%, plástico rígido 7.43% y en porcentajes menores aparecen componentes diversos. Según el programa mencionado en Sonora se generan alrededor de 0.72 kilogramos de residuos por habitante por lo que, multiplicado por la población estatal en el año 2015, da como resultado la cantidad de 770746.15 toneladas de residuos al año que, al considerar el 45.65% como materia orgánica, se estima al año una generación total de 351845.62 toneladas de residuos orgánicos.

En la actualidad en el estado de Sonora no se cuenta con ningún método de recogida selectiva por lo que el total de materia orgánica producida se recoge y se envía directamente hacia los diversos sitios de deposición final en el estado. Respecto al reciclaje de estos residuos se plasma íntegramente lo que se menciona en el programa estatal:

“Existen pocos programas para la reducción de la basura, elaboración de composta y reciclaje de materiales. A su vez, es bajo el aprovechamiento de materiales reutilizables. Se ha reducido la intervención de pepenadores, sin embargo no se han incorporado actividades formales de separación y reciclaje, por lo que, la separación y reciclaje se seguirán realizando informalmente”.

Respecto al porcentaje de sólidos volátiles para lograr la generación de metano a partir de este tipo de desechos se toma un valor de 21% (Campuzano, González, Posadas. 2012).

2.6 Digestión anaerobia de residuos industriales orgánicos

En Sonora actualmente no se cuenta con ninguna fuente de información que haga constar el tipo o la cantidad de desechos industriales orgánicos. Según el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Sonora (PEPGIR) este tipo de residuos están contemplados en la categoría de Residuos de Manejo Especial (RME) y que a su vez la Ley Estatal vigente del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Sonora (LEEPAES) en su artículo 3 los define como:

“Son desechos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos peligrosos o como residuos sólidos urbanos o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”.

El PEPGIR considera, además de los residuos industriales orgánicos, otros tipos de residuos como se aprecia en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación de los Residuos de Manejo Especial (RM) en Sonora
Fuente: PEPGIR Sonora

RESIDUO	DESCRIPCIÓN
Sólidos urbanos	Se compone de residuos con características domiciliarias generados en cantidad igual o superior a las 10 toneladas anuales.
Basura industrial	Corresponde a la mezcla de RME que se generan en cantidad igual o inferior a los 400 kg al año, de forma tal que su valorización resulta incosteable para el generador.
Baterías	Corresponde a este grupo baterías o pilas alcalinas, Ni- Ca, recargables, etc., generadas de su uso como parte de las operaciones productivas y actividades comerciales de los establecimientos, así como aquellas generadas en casas habitación
De construcción	Se generan en actividades de mantenimiento, reconstrucción y reparación de instalaciones, así como en desarrollos inmobiliarios y por particulares
De los productos	Se compone por productos terminados en procesos productivos que no cumplen con los estándares de calidad del fabricante, y que por política interna deben ser destruidos y/o retornados al país de origen. Se incluye en la clasificación, los denominados <i>scrap</i> productivo y/o reciclable

Tabla 2.1 Continuación

RESIDUO	DESCRIPCIÓN
De material de empaque	Se integra por materiales distintos a madera, cartón, papel, poliestireno y plástico
De procesamiento de alimentos	Se compone de residuos generados por plantas procesadoras de alimentos
Electrónicos	Incluiría los dispositivos electrónicos y sus componentes: TV's, pantallas de computadora, celulares, computadoras, enseres del hogar, cartuchos de tóner y tintas, etc.; desechados tanto en establecimientos productivos, comerciales, de servicios y casas habitación
Llantas gastadas	Proviene de empresas comerciales y de servicios (llanteras), así como particulares que las desechen.
Lodo de tratamiento de aguas	Se generan en plantas de tratamiento de aguas residuales, privadas y públicas, de los cuales se determinó que no son poseen características de peligrosidad (CRETI)
Madera	Incluye los residuos generados de su procesamiento en aserraderos, carpinterías, además de pedacería proveniente de establecimientos productivos, comerciales y de servicios donde se utilice el material
Material de vidrio	
Metálicos	Se constituye todo tipo de materiales metálicos (acero, fierro, bronce, cobre, etc.), generado
Papel / Cartón	Se constituye todo tipo de Papel / Cartón
Plásticos	Se constituye todo tipo de plásticos
Poliestireno (hielo seco)	Poliestireno (hielo seco)
Textiles de desecho	Corresponde a residuos que no se consideran como producto fuera de especificación, scrap reciclable y/o productivo, incluyendo los fabricados en algodón y materiales sintéticos

La clasificación, como lo explica el mismo PEPGiR, se llevó a cabo con ayuda de la Comisión de Ecología y Desarrollo Sostenible del Estado de Sonora (CEDES) el cual aportó las Cédulas de Operación que anualmente presentan las empresas registradas en la dependencia en las que se plasma la cantidad y el tipo de residuo que generan. A partir de lo anterior se procuró conseguir esas cédulas, sin embargo no se tuvo éxito ya que no son públicas. En el documento también se expresa que del total de RME generados en el año 2011 el 5.23% provenían de la industria alimenticia.

Ya que no se cuenta con datos concretos respecto a este tipo de residuos se trató de investigar cuales son las industrias estatales que pueden dar como origen desechos orgánicos. Al respecto se puede decir que la industria de la carne de bovino y cerdo es la que más subproductos genera, sin embargo, al contactar con las industrias del ramo, se explicó que tales subproductos (vísceras, sangre, huesos, piel, pelo, etc.) son utilizados casi en totalidad para la producción de embutidos, chicharrón, productos de higiene, entre otros productos comerciales.

Por lo anterior solo se consideran dentro de este apartado el estiércol proveniente de la matanza de bovinos dentro de la industria y que se recolectan en esos lugares de producción.

Para saber la cantidad de metano generada a partir del estiércol de la industria de la carne de bovino se tomó la producción de ganado en pie en el año 2013 la cual es de 142,443 toneladas.

Después, al hablar veterinarios encargados de diversos mataderos en el estado, se consideró que un 7% del peso total del animal al entrar al matadero es estiércol almacenado en su cuerpo. Lo anterior nos da la cantidad total de estiércol proveniente de la industria de la carne de bovino procesada en mataderos.

2.7 Digestión anaeróbica de residuos agrícolas

Los residuos de las cosechas, llamados también rastrojos, representan una parte muy importante de las cosechas. Aunque considerados como subproductos tienen diversos usos dentro de la cadena de valor de los alimentos ya que pueden ser utilizados desde alimento para ganado hasta para la producción de biogás. En México las cantidades principales de estos residuos provienen del cultivo de cereales (Sánchez, 2012; SIAP, 2011) siendo a su vez el maíz y el trigo lo que más aportan al total.

Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera en el Estado de Sonora en el año 2014 había una superficie total cosechada para diversos cultivos de 472,764 hectáreas. De ese gran total el trigo para grano se presenta como el que más hectáreas tiene para su cosecha con un total de 303,272 hectáreas lo que representa el 64.14% del total de hectáreas cosechadas en el estado; el maíz para grano representa el 4.22% del total con 19,992 hectáreas; y el sorgo para grano representa un 3.76% con 17,821 hectáreas. Estos tres cereales representan en conjunto 341,085 hectáreas y una producción en toneladas de 2, 040,672.

El total de rastrojos para cada cultivo se determinó a partir de la ecuación 2.1.

$$\text{Producción de rastrojo} = \left(\frac{\text{Producción de grano}}{\text{porcentaje de grano}} \times 100 \right) - \text{producción de grano}$$

*Ecuación 2.1 Producción de rastrojos por cultivo
Fuente: inifap, 2013*

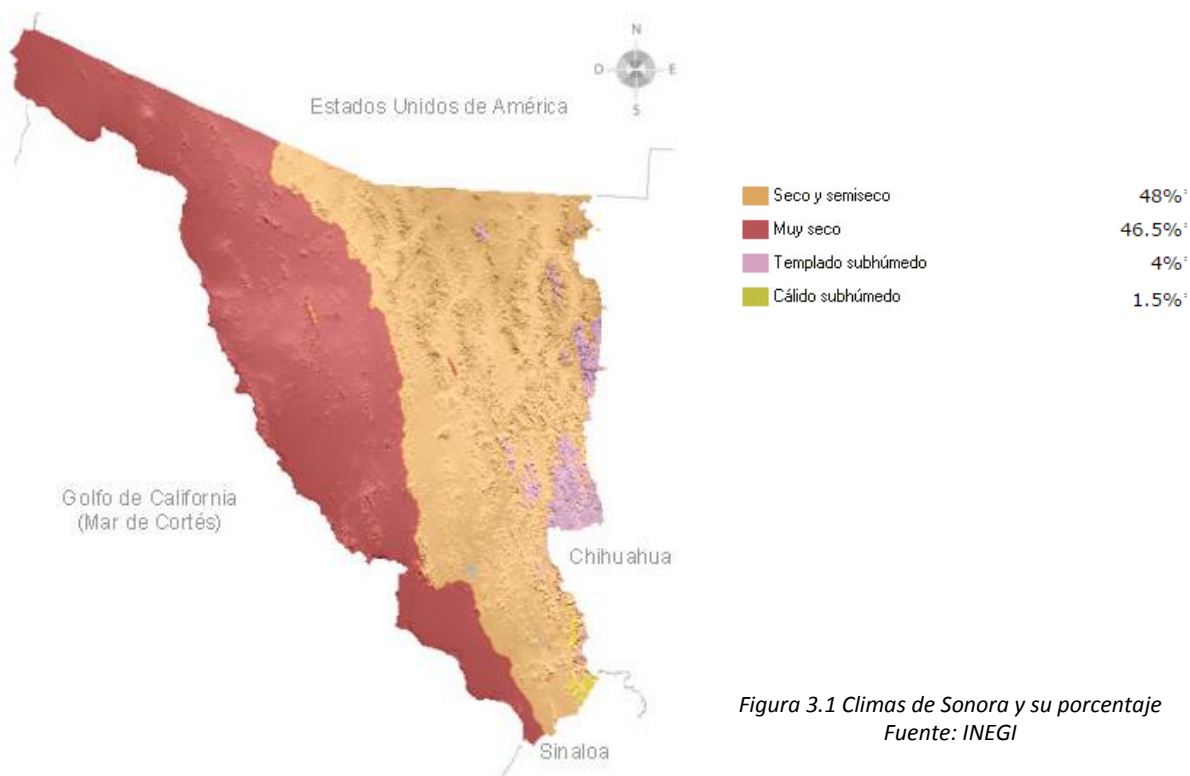
3. El Estado de Sonora

El estado de Sonora es una de las 32 entidades federativas que conforman la República Mexicana. Se distingue por sus características desiertas y su clima caluroso en la mayor parte del territorio. El estado a su vez se divide en 72 municipios siendo Hermosillo la capital de estado así como la ciudad más poblada.

Para el año 2015 la población total de Sonora es de 2, 781,876 personas distribuidas en los 72 municipios. Los municipios más poblados son Hermosillo, con 870,096 personas; Cajeme, con 447,677 personas; y Nogales con 245,001 personas. Del total de población el 86% vive en zonas urbanas y el 14% en zonas rurales del estado.

Ubicado en el noroeste de México tiene una extensa frontera con lo Estados Unidos se América así como con los estados mexicanos de Chihuahua, Sinaloa y Baja California. Sonora es el segunda estado más extenso de la República con 179,355 kilómetros cuadrados lo que representa el 9.1% del total del territorio nacional.

El 48% del estado presenta un clima seco y semiseco localizado en la parte serrana del estado, el 46.5% del territorio presenta un clima muy seco localizado en las Llanuras Costeras del Golfo, el 4% de la extensión del territorio presenta un clima templado subhúmedo localizado hacia el extremo este del estado y el 1.5% restante presenta un clima cálido subhúmedo presente en el extremo sureste. La temperatura media anual para el estado es de 22°C, la máxima promedio de 38°C y la mínima promedio es de 5°C. La precipitación media de es 450 mm anuales.



Aunque el clima puede ser un limitante en Sonora se cultivan grandes cantidades de trigo, algodón, cártamo, sandía, ajonjolí, garbanzo, sorgo, maíz y vid, principalmente con riego, en la regiones de clima seco y semiseco de los Valles de El Yaqui, Mayo y Guaymas.

Respecto al tema económico en el año 2013 el PIB de Sonora representó el 3% con respecto al total nacional. Entre las principales actividades se encuentran: comercio (15.8%); minería no petrolera (12.7%); servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (9.8%); fabricación de maquinaria y equipo (9.8%); y, construcción (8.0%). En conjunto representan el 56.1% del PIB estatal.

3.1 Antecedentes

En Sonora actualmente no existe un informe detallado ni sobre el potencial de generación de biogás en el estado ni tampoco sobre la producción actual del mismo.

Sin embargo con lo que se cuenta son diversos proyectos que están en fase de ser aplicados o que ya lo están siendo.

En el año 2014 el ayuntamiento de Hermosillo inició los trámites para producir energía eléctrica a través del biogás generado por los desechos del relleno sanitario y que será administrado por la Comisión Federal de Electricidad. Sin embargo, aún no se cuentan con noticias o documentos que afirmen cuando el proyecto será terminado.

Respecto a la producción de biogás se cuentan con algunos datos que hacen constar que desde el año 2012 se han instalado en diversas granjas porcinas tecnologías para el aprovechamiento de los purines como energía sin embargo, al igual que en el caso de los desechos urbanos, no se cuenta con una base de datos en donde se plasme cuantas granjas usan esta tecnología.

4. Metodología y documentación base

4.1 Documentación base:

- UGRS. Unión Ganadera Regional de Sonora. Censo ganadero 2012-2013 del Estado de Sonora.
Fecha de consulta: Marzo 2015
- Comisión Estatal de la Leche. Censo ganadero 2015, producción captada en plantas.
Fecha de consulta: Marzo 2015
- UGRP. Unión Ganadera Regional de Porcicultores. Estadística porcina 2014.
Fecha de consulta: Marzo 2015
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Huevo para plato producción, precio y valor 2013.
- URL: <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/>
Fecha de consulta: Mayo 2015
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Sonora.
URL:
http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pepgir_sonora.pdf.
Fecha de consulta: Abril 2015
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2014.
URL:
<http://www.ceieg.sonora.gob.mx/Files/Publicaciones/Anuario%20Estad%3ADstico%20y%20Geogr%3A1fico%202014.pdf>.
Fecha de consulta: Abril 2015
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación año 2013.
URL:
http://www.cmic.org/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/estadisticas/Estadisticas_2014-2018/Publicaciones-2014/Inventario%20Nacional%20de%20Planta%20Municipales%20De%20Potabilizaci%C3%B3n_SGAPDS-5-14.pdf.
Fecha de consulta: Abril 2015

4.2 Estimación del potencial de metano por residuo

Unidades: Las estimación de los potenciales máximos se expresan en TEP/año, en base a 8,600 kcal/m³ de CH₄ (PCI).

4.3 Residuos ganaderos

Para estimar el potencial energético a partir de los residuos de la industria ganadera se tomaron datos del censo ganadero del año 2013, el censo ganadero de la Comisión Estatal de la Leche, la estadística porcina de la Unión Ganadera Regional de Porcicultores así como datos del Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2014. A partir de los la recopilación de datos provenientes de las fuentes anteriores se hizo una base de datos en donde se muestran la cantidad total de cada tipo de animal, la cantidad de cada uno de ellos por municipio así como la cantidad de animales en granjas y en corrales de engorda además de la ubicación de cada una de ellas.

Para el estiércol proveniente de los diferentes tipos de animales en todos los casos primero se calcularon las emisiones de CH₄ producidas por la gestión de estiércol siguiendo la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en sus Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para las emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol; en el anterior se propone utilizar la ecuación 4.1.

EMISIONES DE CH₄ DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

$$CH_{4\text{Estiércol}} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

Donde:

CH_{4Estiércol} = emisiones de CH₄ por la gestión del estiércol, para una población definida, Gg CH₄ año⁻¹

EF_(T) = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T) = la cantidad de cabezas de la especie/categoría de ganado *T* del país

T = especie/categoría de ganado

Ecuación 4.1 Emisiones de CH₄ de la gestión del estiércol

Fuente: IPCC

Para poder realizar la anterior operación se calculó el factor de emisión de acuerdo a la fórmula 4.2.

FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[B_{a(T)} \cdot 0,67 \text{ kg / m}^3 \cdot \sum_{s,k} \frac{MCF_{s,k}}{100} \cdot MS_{(T,s,k)} \right]$$

Donde:

$EF_{(T)}$ = factor de emisión anual de CH₄ para la población de ganado categoría T , kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹

$VS_{(T)}$ = sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado T , kg materia seca animal⁻¹ día⁻¹

365 = base para calcular la producción anual de VS, días año⁻¹

$B_{a(T)}$ = capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría T , m³ CH₄ kg⁻¹ de VS excretados

0,67 = factor de conversión de m³ de CH₄ a kilos de CH₄

$MCF_{(s,k)}$ = factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol S por región climática k , %

$MS_{(T,s,k)}$ = fracción del estiércol del ganado de la categoría T manejado usando el sistema de gestión de desechos S en la región climática k , sin dimensión

Ecuación 4.2 Factor de emisión de CH₄ de la gestión del estiércol

Fuente: IPCC

Se consideró además, en todos los casos, que Sonora está en América del Norte y que tiene una temperatura media anual de 25°C.

Al tener ya la cantidad de CH₄ anual calculado a partir de la ecuación 4.1 se convirtió a Kcal luego a TEP/año.

4.3.1 Ganado bovino

Los sólidos volátiles procedentes del ganado bovino se calcularon a partir de que se consideraron las cantidades de excretas por día y tipo de animal expuestas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cantidad de sólidos volátiles por tipo de animal.

Fuente: Nennich et al., (2005) e información directa con contactos de la SAGARPA Sonora.

Bovino	Kg de estiércol por día
Vaca establo de engorda	38.60
Vaca establo lechero	75.20
Vaquilla establo lechero	24.50
Becerro establo lechero	12.40
Vaca pastoreo	3.00
Toro pastoreo	3.00
Vaquilla pastoreo	3.00

Becerro pastoreo	3.00
------------------	------

Se consideró un valor de 14.5% de SV por kilogramo de estiércol tomando como referencia los valores aportados por diferentes fuentes (tabla 4.2).

Tabla 4.2. Porcentaje de SV en el estiércol de bovinos.

Fuente	Valor
López & Peñaloza 2012	13%
Botero & Preston 1986; Vargas 1992	16%

Respecto a la capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado se escogieron los valores de la tabla 4.3 indicados en las directrices del IPCC 2006.

Tabla 4.3 Capacidad máxima de producción de metano de estiércol de bovino.

Bovino	B ₀
Vacunos o bovinos en establos de engorda o lecheros	0.24
Otros vacunos	0.19

4.3.2 Ganado porcino

Para el caso de los porcinos se consideraron las cantidades diarias de estiércol según la etapa del porcino (tabla 4.4).

*Tabla 4.4. Producción diaria de excreta según tipo de cerdo.
Fuente: Penz, A.M Jr, 2000*

Porcino etapa	Estiercol Kg/día
25-100 Kg	2.3
Hembra	3.6
Hembra lactación	6.4
Semental	3.0
Lechón	0.35
Promedio	2.35

El porcentaje de SV en el estiércol se consideró como de 24% considerando las fuentes de la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Porcentaje de SV en el estiércol de porcinos.

Fuente	Valor
López & Peñaloza 2012	32%
Bonmatí 2008	20%
Botero & Preston 1986; Vargas 1992	20%

Se consideraron valores para la capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado porcino según valores indicados en las directrices del IPCC 2006 (tabla 4.6).

Tabla 4.6 Capacidad máxima de producción de metano.

Porcino	B₀
Porcino de cría	0.48
Porcino de carne	0.48

4.3.3 Sector avícola

Se tomó como base de producción de SV las indicadas en las directrices del IPCC 2006 que es de 0.02 Kg al día. Así mismo el B₀ consideró de 0.39 m³/kg de SV conforme al mismo documento.

4.4 Fracción orgánica de residuos municipales

Para conocer la cantidad total de anual de la fracción orgánica proveniente de los residuos municipales se tomó la población total por municipio estimada para el año 2015 en el estado. A partir de la población se consideró que cada persona produce un promedio de 0.72 Kg de residuos al día en el estado según lo indica el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Sonora. A partir de los datos anteriores se obtuvo un total de 770,746 toneladas de residuos anuales en el estado de esos se consideró como 48% como orgánicos lo que da como total 364,948 toneladas de materia orgánica al año.

Se tomó como referencia un valor de humedad de 71.3% y de 28.7% de sólidos totales, de los cuales un 73% corresponden a sólidos volátiles (Campuzano, González, Posadas 2012). Se consideró también 400 m³ de CH₄/ton de SV

4.5 Lodos de plantas depuradoras

En sonora existen actualmente 5 tipos de tecnologías con las cuales se depuran las aguas residuales generadas en el estado. De esos 5 tipos los más utilizados son las lagunas de estabilización y los lodos activados.

Para poder determinar la cantidad de lodos generados por tipo de tecnología así como el total se utilizó como referencia el Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación año 2013 en donde se plasma la ubicación, tipo de tecnología usada y los litros por segundo tratados en cada una de las plantas en el estado.

Se consideró una demanda bioquímica de oxígeno de 220 mg/l tratado (ANAM, 2003) así como los valores de generación de CH₄ por tipo de tecnología empleada en el tratamiento de las aguas de la figura 2.2.

4.6 Residuos orgánicos industriales

Como se menciona en el capítulo 2 la información de las empresas acerca de los residuos que producen y que se registran en la comisión de ecología estatal no es pública por lo que en este apartado solo se consideró el estiércol de bovinos que se generan en los diferentes mataderos del estado. Según datos que se mencionan en el capítulo 2 el 7% del peso del animal se considera estiércol por lo que en total, a partir del ganado en pie comercializado, nos da un total de 9,970 toneladas de estiércol del cual el 14.5% se considera como SV.

Para obtener la cantidad de CH₄ que se podría producir a partir de esa cantidad de SV se utilizó la ecuación que se indica en las directrices el IPCC 2006.

4.7 Residuos agrícolas

Para calcular el potencial energético a partir de la digestión anaerobia de los rastrojos agrícolas provenientes de las cosecha de granos en el estado primero se determinó el total de rastrojo producido en un año por tipo de cosecha utilizando la ecuación 2.1.

Ya que se contaba con la cantidad de rastrojo producida por tipo de cosecha y su ubicación, se consideraron los valores de la tabla 4.7 de producción de CH₄.

Rastrojo	m₃ de CH₄ por t de SV
Maíz	290
Avena	320
Sorgo	290
Trigo	260

Tabla 4.7 producción de CH₄ por tonelada de SV
Fuente: Wang, 2010

5. Potencial total disponible de producción de biogás en Sonora

El potencial se ha estimado primeramente por municipios así como por tipo de residuo; luego se ha hecho un resumen con el potencial total estatal.

Los valores finales se expresan en TEP/año y se han calculado según las metodologías expuestas en el capítulo 4.

Así también se incluye un mapa de la distribución de los potenciales por municipio para poder identificar más fácilmente cuales son las áreas más propensas para la generación de biogás en cada ámbito. El detalle de todos los resultados está en el Anexo 1.

En la tabla 5.1 se expresan los resultados de los 10 municipios que aportan el mayor porcentaje del total, origen del residuo así como el porcentaje que representa cada municipio al total disponible. También se muestra el gran total perteneciente a los 72 municipios para cada origen de residuo.

Tabla 5.1 Toneladas equivalentes de petróleo totales disponibles anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Ganadería tep/año	Agricultura tep/año	RSU tep/año	Lodos tep/año	Org. Ind. Tep/año	Total tep/año	%
CAJEME	72701.81	135975.39	4024.28	2617.01	9.02	215327.50	24.36
NAVOJOA	39002.17	122304.13	1545.45	601.00	8.37	163461.12	18.49
HERMOSILLO	59316.76	25116.05	7821.50	4781.59	47.44	97083.33	10.98
ETCHOJOA	1309.27	66509.26	591.56	0.00	5.22	68415.31	7.74
BENITO JUAREZ	763.46	49414.90	213.27	0.00	0.41	50392.04	5.70
BACUM	2539.31	42452.71	222.74	0.00	2.32	45217.08	5.12
HUATABAMPO	740.74	35577.18	764.66	14.65	5.05	37102.28	4.20
GUAYMAS	2354.71	26507.52	1478.42	512.91	5.62	30859.17	3.49
SAN LUIS RIO COLORADO	96.35	26227.06	1776.64	509.33	0.14	28609.53	3.24
URES	844.67	8195.27	88.81	10.25	3.57	9142.59	1.03
RESTO MUN.	26374.63	101522.00	7836.53	2459.01	118.63	138310.81	15.65
TOTAL ESTADO	206043.88	639801.47	26363.87	11505.75	205.79	883920.76	100.00

A partir de la tabla anterior se puede ver que 10 de los 72 municipios aportan el 84.35% del potencial total en el estado. De los 10, 8 se encuentran en el centro y sur del estado (Cajeme, Navojoa, Hermosillo, Etchojoa, Benito Juárez, BÁCUM, Huatabampo, Guaymas, Ures), uno más el noroeste (San Luis Rio Colorado). Se puede observar e en la figura 5.1.

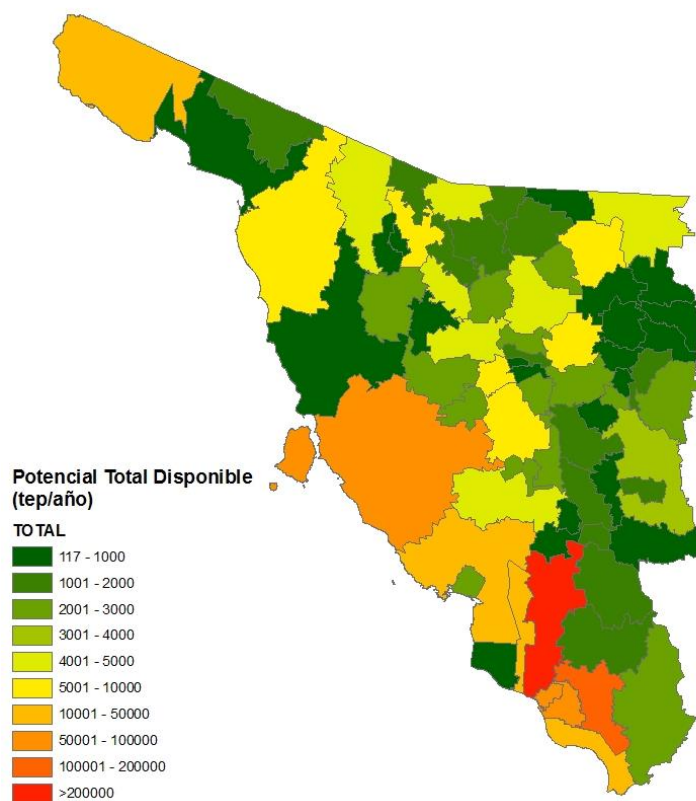


Figura 5.1 Distribución del potencial total disponible es el estado de Sonora

5.1 Potencial disponible de deyecciones ganaderas

A continuación, en la tabla 5.2, se expresa el potencial de generación de biogás de los 10 municipios que aportan mayor porcentaje al total estatal, la cantidad que aportan el resto de municipios así como el total estatal a partir de los diferentes tipos de deyecciones ganaderas. Las cantidades se expresan en TEP/año.

Tabla 5.2 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de deyecciones ganaderas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Bovino		Porcino		Gallinas ponedoras		Total	
	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%
CAJEME	9105.32	19.27	54510.94	40.62	9085.55	36.93	72701.81	35.28
HERMOSILLO	9081.32	19.22	45369.24	33.81	4866.20	19.78	59316.76	28.79
NAVOJOA	974.02	2.06	32976.53	24.58	5051.62	20.53	39002.17	18.93
BACUM	566.23	1.20	4.60	0.00	1968.47	8.00	2539.31	1.23
GUAYMAS	1655.48	3.50	17.66	0.01	681.56	2.77	2354.71	1.14
ALAMOS	2023.19	4.28	7.65	0.01	0.00	0.00	2030.84	0.99
CABORCA	1980.77	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00	1980.77	0.96
QUIRIEGO	879.79	1.86	10.42	0.01	605.73	2.46	1495.93	0.73
ETCHOJOA	234.90	0.50	2.37	0.00	1072.00	4.36	1309.27	0.64
ALTAR	1046.97	2.22	6.56	0.00	0.00	0.00	1053.53	0.51
RESTO MUN.	19712.96	41.71	1275.60	0.95	1270.22	5.16	22258.78	10.80
TOTAL ESTADO	47260.95	100.00	134181.58	100.00	24601.35	100.00	206043.88	100.00

Cajeme, Hermosillo, Navojoa, Bacum y Guaymas son los municipios que aportan más el porcentaje total de producción de biogás a partir de deyecciones ganaderas. En conjunto los 5 municipios aportan un 85.37% del total. Se muestra lo anterior en la figura 5.2.

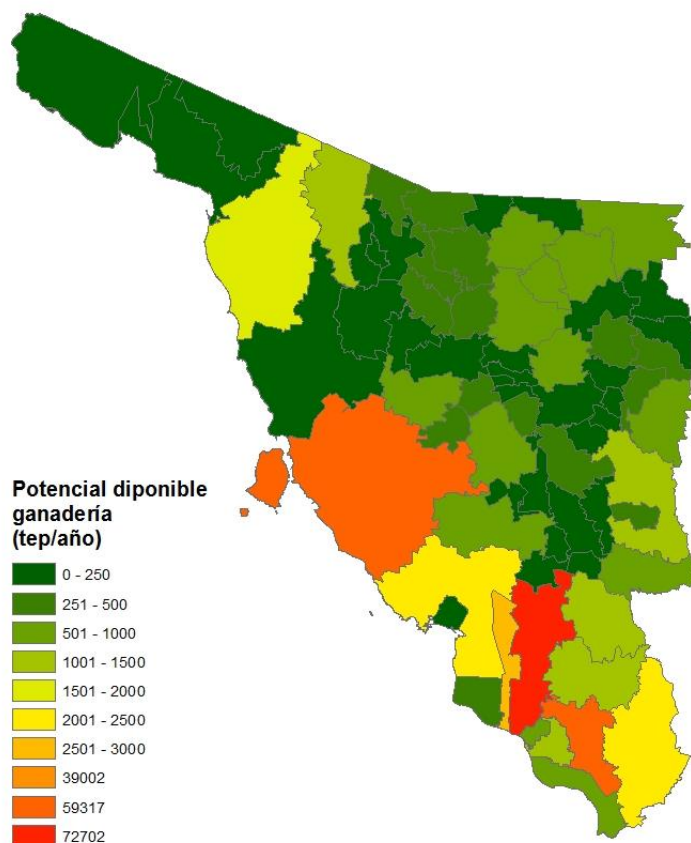


Figura 5.2 Distribución del potencial disponible de deyecciones ganaderas en el estado de Sonora

5.2 Potencial disponible de la fracción orgánica de los residuos municipales

En la tabla 5.3 se detalla el potencial de generación de biogás a partir de la fracción orgánica de los RSU. Las cantidades se expresan en TEP/año y porcentaje por municipio de mayor a menor potencial.

Como se observa en la tabla, los municipios de Hermosilla, Nogales y Cajeme, debido a la población elevada de los mismos, son los que más aportan al total. Se puede observar en la figura 5.3.

Tabla 5.3 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de la FORM anual y porcentaje por municipio

Municipio	RSU t/año	Fracción orgánica t/año	tep/año	%
HERMOSILLO	228661.23	108271.09	7821.50	29.67
CAJEME	117649.52	55707.05	4024.28	15.26
NOGALES	64386.26	30486.90	2202.37	8.35
SAN LUIS RIO				
COLORADO	51940.05	24593.62	1776.64	6.74
NAVOJOA	45181.10	21393.25	1545.45	5.86
GUAYMAS	43221.40	20465.33	1478.42	5.61
CABORCA	23982.87	11355.89	820.35	3.11
AGUA PRIETA	23068.85	10923.10	789.08	2.99
HUATABAMPO	22354.82	10585.01	764.66	2.90
RESTO MUN.	150300.05	71167.07	5141.11	19.50
TOTAL ESTADO	770746.15	364948.30	26363.87	100.00

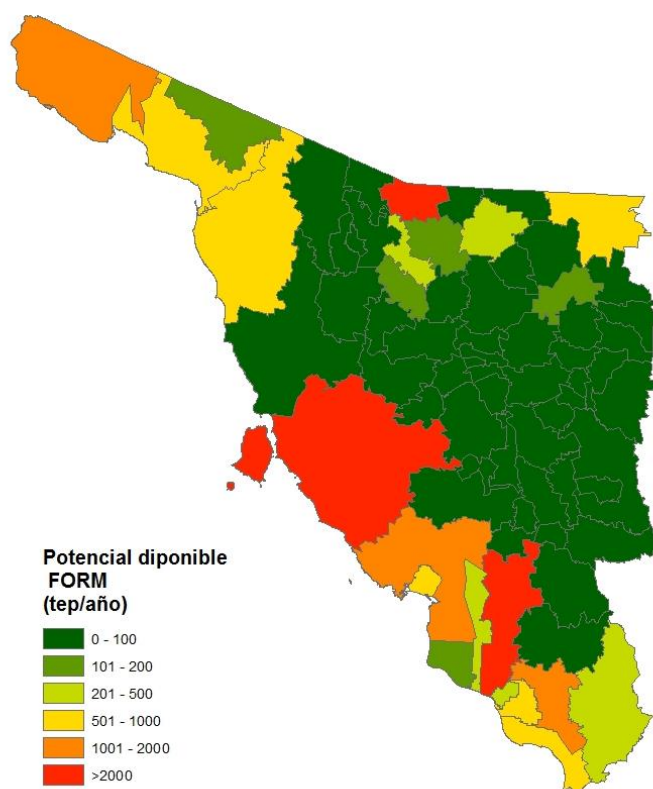


Figura 5.3 Distribución del potencial disponible de la FORM en el estado de Sonora

5.3 Potencial disponible de lodos de depuradora

Hermosillo, Cajeme y Nogales son los municipios con mayor potencial para generar biogás a partir de los lodos de depuradora. En conjunto esos tres municipios aportan un 76.13 % del total. En la tabla 5.4 se muestran los resultados. En la figura 5.4 se muestra lo anterior.

Tabla 5.4 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de lodos de depuradora anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Toneladas de DBO/año por tipo de tecnología							
	Lagunas de estabilización	Lodos activados	Lagunas aireadas	Fosa séptica	Humedales	Total	tep/año	%
HERMOSILLO	4.86	15286.32	0.00	0.00	0.00	15291.18	4781.59	41.56
CAJEME	510.63	0.00	8084.76	0.00	0.00	8595.39	2617.01	22.75
NOGALES	714.61	693.79	3654.20	0.00	0.00	5062.60	1359.74	11.82
NAVOJOA	0.00	1921.80	0.00	0.00	0.00	1921.80	601.00	5.22
GUAYMAS	2211.12	0.00	0.00	0.00	0.00	2211.12	512.91	4.46
SAN LUIS RIO								
COLORADO	2171.57	0.00	0.00	0.00	0.00	2171.57	509.33	4.43
AGUA PRIETA	1401.46	0.00	0.00	0.00	0.00	1401.46	328.71	2.86
EMPALME	577.23	0.00	0.00	0.00	0.00	577.23	135.39	1.18
PUERTO								
PEÑASCO	565.44	0.00	0.00	0.00	0.00	565.44	132.62	1.15
MAGDALENA	480.80	0.00	0.00	0.00	0.00	480.80	112.77	0.98
RESTO MUN.	7390.13	0.00	0.00	0.11	1.61	7391.85	414.69	3.60
TOTAL ESTADO	16027.84	17901.91	11738.96	0.11	1.61	45670.44	11505.75	100.00

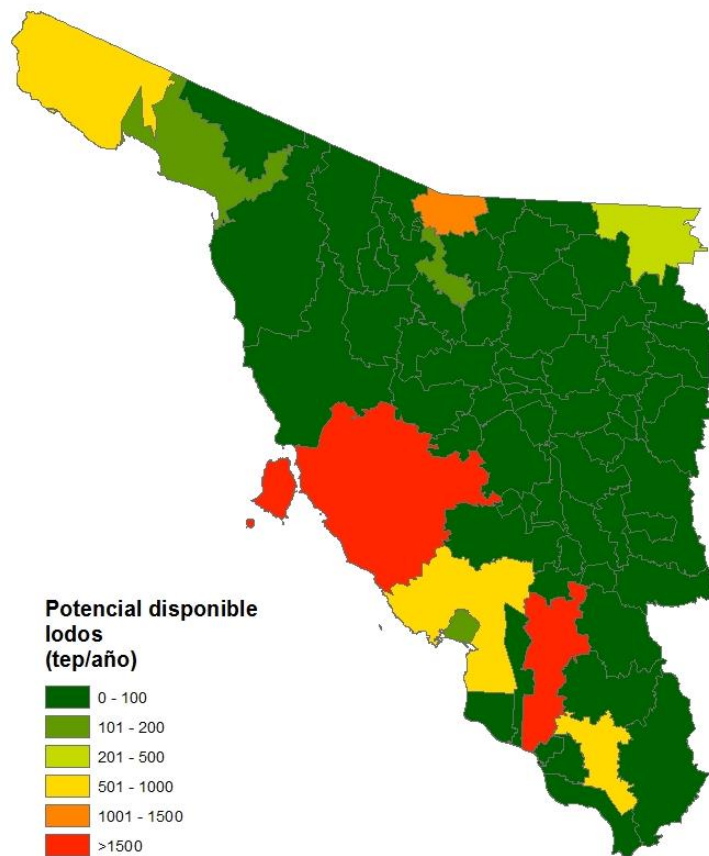


Figura 5.4 Distribución del potencial disponible de los lodos de depuradora en el estado de Sonora

5.4 Potencial disponible de residuos orgánicos industriales

Hermosillo es el municipio con mayor potencial en este rubro representando por si solo un 23.05% del potencial estatal total. En segundo lugar se encuentra Caborca con solo un 4.89% del total. En la tabla 5.5 se muestran los datos completos. En la figura 5.5 se plasma lo anterior.

Tabla 5.5 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de residuos orgánicos industriales anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Estiercol rastros ganado bovino					%
	Ganado en pie t/año	Estiercol t/año	SV t/año	Kg CH ₄ /año	tep/año	
HERMOSILLO	32833.00	2298.31	361983.83	36403.63	47.44	23.05
CABORCA	6967.00	487.69	76811.18	7724.67	10.07	4.89
CAJEME	6240.00	436.80	68796.00	6918.61	9.02	4.38
NAVOJOA	5795.00	405.65	63889.88	6425.21	8.37	4.07
AGUA PRIETA	5118.00	358.26	56425.95	5674.59	7.39	3.59
QUIRIEGO	4940.00	345.80	54463.50	5477.23	7.14	3.47
ROSARIO	4735.00	331.45	52203.38	5249.94	6.84	3.32
GUAYMAS	3889.00	272.23	42876.23	4311.93	5.62	2.73
ETCHOJOA	3615.00	253.05	39855.38	4008.14	5.22	2.54
HUATABAMPO	3495.00	244.65	38532.38	3875.09	5.05	2.45
RESTO MUN.	64814.00	4536.98	714574.35	71862.60	93.64	45.50
TOTAL ESTADO	142441.00	9970.87	1570412.03	157931.63	205.79	100.00



Figura 5.5 Distribución del potencial disponible de residuos orgánicos industriales en el estado de Sonora

5.5 Potencial disponible de residuos agrícolas

En el caso de los residuos agrícola 6 municipios del sur de Sonora aportan en conjunto el 70.69% del potencial total de este rubro. Lo anterior parece obvio ya que el sur del estado se conoce por ser un importante centro agrícola. En la tabla 5.6 se muestran los resultados.

Tabla 5.6 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de residuos agrícolas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Producción t/año	Ratrojo t/año	CH ₄ t/año	tep/año	%
CAJEME	531780.00	600461.01	1445.51	135975.39	21.25
NAVOJOA	474082.00	535372.89	1287.80	122304.13	19.12
ETCHOJOA	262313.00	295978.80	716.20	66509.26	10.40
BENITO JUAREZ	194149.00	219079.48	529.90	49414.90	7.72
BACUM	164521.00	185941.49	444.68	42452.71	6.64
HUATABAMPO	141014.00	159027.17	386.24	35577.18	5.56
GUAYMAS	104900.00	116937.40	284.16	26507.52	4.14
SAN LUIS RIO					
COLORADO	103464.00	116421.16	282.61	26227.06	4.10
HERMOSILLO	97337.00	103159.17	250.68	25116.05	3.93
CUMPAS	32953.00	32965.40	79.56	8292.24	1.30
RESTO MUN.	402715.00	406838.24	984.56	101425.04	15.85
TOTAL ESTADO	2509228.00	2772182.22	6691.89	639801.47	100.00

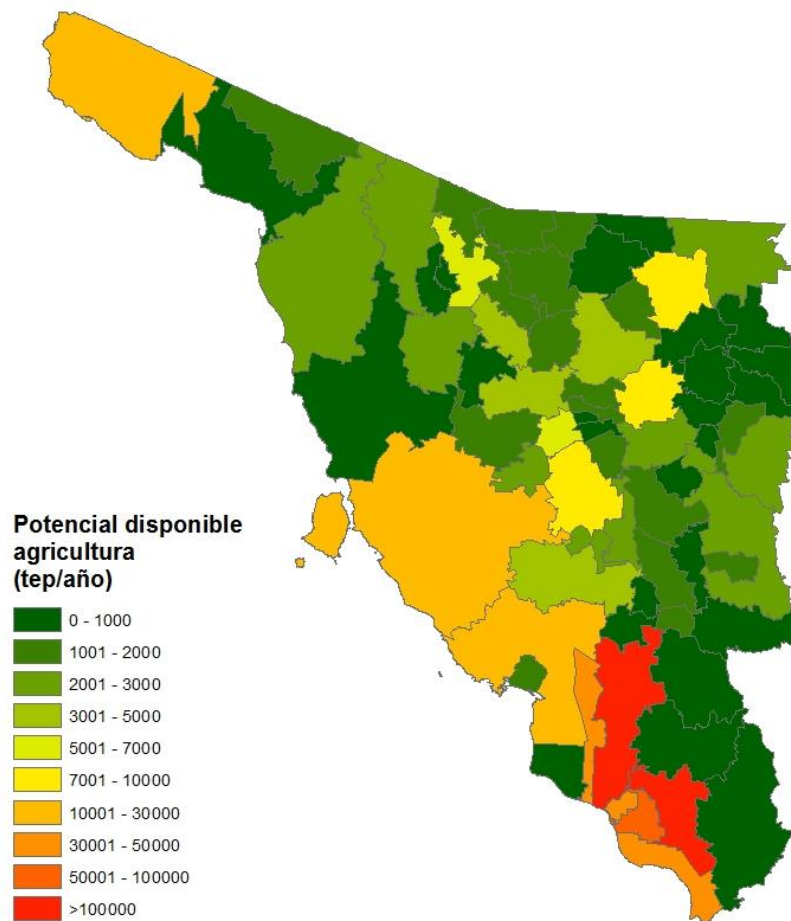


Figura 5.6 Distribución del potencial disponible de residuos agrícolas en el estado de Sonora

6. Potencial accesible para la producción de biogás en Sonora

Para poder diferenciar el potencial total disponible del potencial total accesible se descartaron los residuos de cada categoría que no fueran accesibles para el su uso en la generación de biogás. Se descartaron por diversos motivos que van desde la cuestión económica, en el caso de los lodos para algunas tecnologías de depuración, hasta por el tema del difícil manejo de deyecciones ganaderas en el caso de la ganadería extensiva. Cada uno de los motivos se explica a detalle en cada uno de los siguientes subtemas.

Como se puede apreciar en la tabla 6.1 el potencial total accesible en el estado de Sonora es de 732,626.16 TEP al año lo que significa una diferencial de 151,294.6 TEP al año en comparación al total disponible. Al igual que en el potencial total disponible, los 10 primeros municipios de la tabla son los que apartan mayor porcentaje al total accesible y, con excepción de Ures, que cedió su puesto a Caborca, aparecen los mismos municipios. En la figura 6.1 se expresa lo anterior.

Tabla 6.1 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles totales anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Ganadería tep/año	Agricultura tep/año	RSU tep/año	Lodos tep/año	Org. Ind. tep/año	Total acces. Tep/año	%
CAJEME	71896.68	135955.02	4024.28	0.00	7.39	211883.37	28.92
NAVOJOA	38105.84	122289.00	1545.45	601.00	7.14	162548.43	22.19
HERMOSILLO	58778.38	11499.56	7821.50	4780.45	0.86	82880.75	11.31
ETCHOJOA	1072.00	66509.26	591.56	0.00	2.30	68175.12	9.31
BENITO JUAREZ	725.28	49414.90	213.27	0.00	1.81	50355.25	6.87
BACUM	2340.79	42442.81	222.74	0.00	2.34	45008.68	6.14
HUATABAMPO	386.86	35577.18	764.66	0.00	1.04	36729.75	5.01
SAN LUIS RIO							
COLORADO	0.00	25703.32	1776.64	0.00	0.97	27480.93	3.75
GUAYMAS	1486.79	23777.22	1478.42	0.00	0.95	26743.38	3.65
CABORCA	1875.59	1612.47	820.35	0.00	3.36	4311.76	0.59
RESTO MUN.	2432.18	6576.96	7105.00	216.97	177.62	16508.74	2.25
TOTAL ESTADO	179100.39	521357.70	26363.87	5598.42	205.79	732626.16	100.00

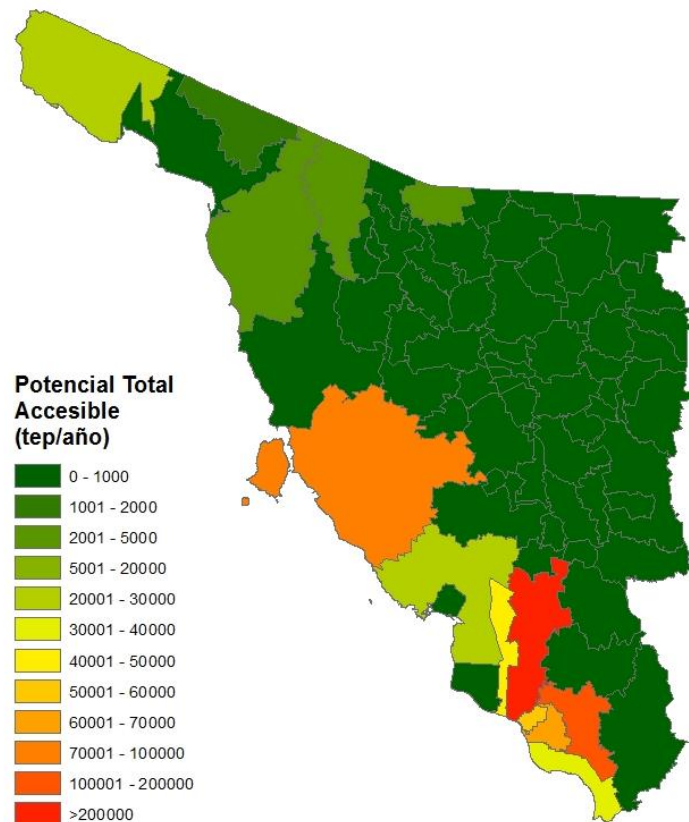


Figura 6.1 Distribución del potencial accesible total en el estado de Sonora

6.1 Potencial accesible de deyecciones ganaderas

El potencial para la generación de biogás a partir de las deyecciones ganaderas está limitado por la cantidad de estiércol proveniente de los distintos animales que puede ser recogido. Lo anterior quiere decir que el estiércol que se puede utilizar proviene principalmente de granjas donde se cría ganado de forma intensiva como es el caso de las granjas porcinas, los establos de engorda de ganado bovino y las granjas de gallinas ponedoras. Para poder determinar el potencial accesible se descartaron las deyecciones provenientes de la cría de ganado de forma intensiva principalmente el de ganado bovino. En la tabla 6.2, así como en la figura 6.2, se puede apreciar que el potencial es de en comparación a los disponibles.

Tabla 6.2 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de deyecciones ganaderas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Establos lecheros		Corrales engorda		Granjas porcinas		Gallinas ponedoras		Total	
	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%
CAJEME	4255.74	46.31	4053.58	33.48	54501.81	40.92	9085.55	36.93	71896.68	40.14
HERMOSILLO	1734.50	18.87	6835.23	56.45	45342.45	34.04	4866.20	19.78	58778.38	32.82
NAVOJOA	84.94	0.92	0.00	0.00	32969.29	24.75	5051.62	20.53	38105.84	21.28
BACUM	372.32	4.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1968.47	8.00	2340.79	1.31
CABORCA	656.20	7.14	1219.39	10.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.59	1.05
GUAYMAS	805.23	8.76	0.00	0.00	0.00	0.00	681.56	2.77	1486.79	0.83
ETCHOJOA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1072.00	4.36	1072.00	0.60
BENITO JUAREZ	119.55	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	605.73	2.46	725.28	0.40
ALTAR	635.49	6.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	635.49	0.35
QUIRIBO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	605.73	2.46	605.73	0.34
RESTO MUN.	526.47	5.73	0.00	0.00	386.86	0.29	664.49	2.70	1577.82	0.88
TOTAL ESTADO	9190.44	100.00	12108.20	100.00	133200.40	100.00	24601.35	100.00	179100.39	100.00

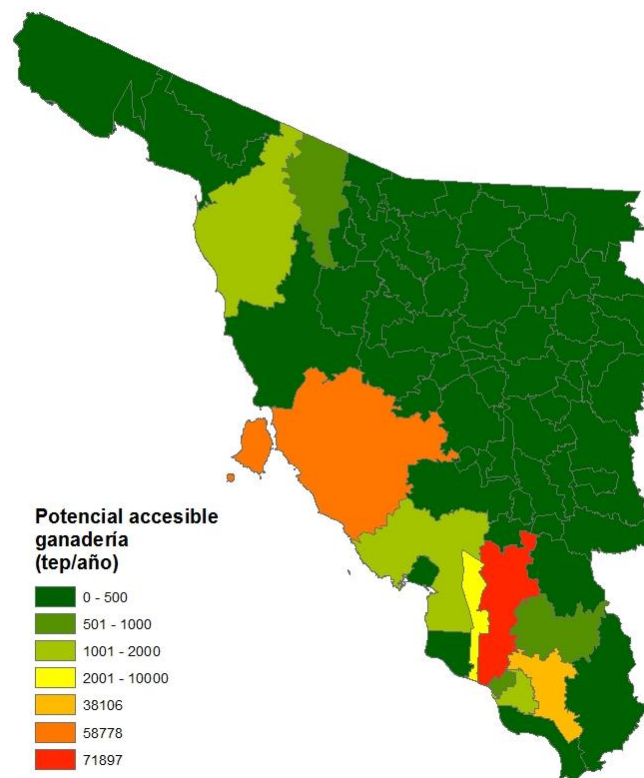


Figura 6.2 Distribución del potencial accesible de deyecciones ganaderas en el estado de Sonora

6.2 Potencial accesible de la fracción orgánica de los residuos municipales

El potencial accesible de la fracción orgánica de los residuos municipales se considera igual al disponible ya que actualmente este tipo de desechos se vierten íntegramente en los depósitos municipales sin ningún tratamiento previo, por lo que las acciones a emprender para la generación de biogás dependen completamente del tratamiento usado en los mismos depósitos. Lo anterior se muestra en la tabla y figura 6.3.

Tabla 6.3 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de la FORM anual y porcentaje por municipio

Municipio	RSU t/año	Fracción orgánica t/año	tep/año	%
HERMOSILLO	228661.23	108271.09	7821.50	29.67
CAJEME	117649.52	55707.05	4024.28	15.26
NOGALES	64386.26	30486.90	2202.37	8.35
SAN LUIS RIO				
COLORADO	51940.05	24593.62	1776.64	6.74
NAVOJOA	45181.10	21393.25	1545.45	5.86
GUAYMAS	43221.40	20465.33	1478.42	5.61
CABORCA	23982.87	11355.89	820.35	3.11
AGUA PRIETA	23068.85	10923.10	789.08	2.99
HUATABAMPO	22354.82	10585.01	764.66	2.90
RESTO MUN.	150300.05	71167.07	5141.11	19.50
TOTAL ESTADO	770746.15	364948.30	26363.87	100.00

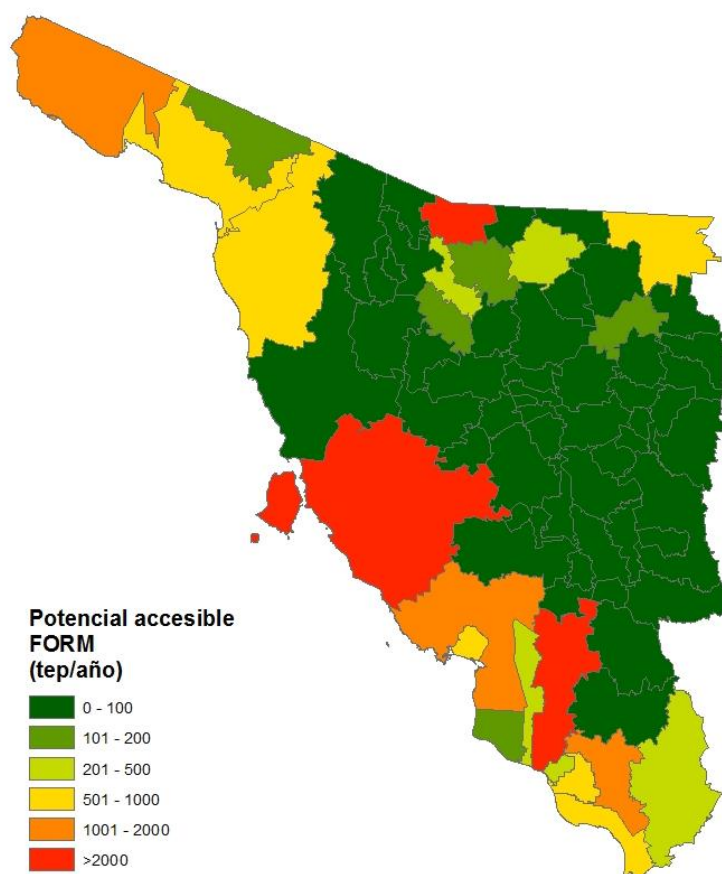


Figura 6.3 Distribución del potencial accesible de la FORM en el estado de Sonora

6.3 Potencial accesible de lodos de depuradora

Solo se han considerado como accesibles para la generación de biogás los lodos generados en las plantas depuradoras que usan la tecnología de lodos activados. Lo anterior debido a los altos costos que pueden demandar las instalaciones para generar biogás en plantas que utilizan otro tipo de tecnología. De un potencial total disponible de 11505.75 TEP/año solo 5598.42 TEP/año estarían disponibles por uso de lodos activados. En la tabla 6.4 se muestran las cantidades accesibles por municipio.

Tabla 6.4 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de lodos de depuradora anual y porcentaje por municipio

Municipio	DBO (ton/año)	tep/año	%
HERMOSILLO	15286.32	4780.45	85.39
NAVOJOA	1921.80	601.00	10.74
NOGALES	693.79	216.97	3.88
RESTO MUN.	0.00	0.00	0.00
TOTAL ESTADO	17901.91	5598.42	100.00

Los municipios de Hermosillo, Navojoa y Nogales son los que aportan el 100% del total accesible debido a que son los únicos municipios en donde se utiliza la tecnología de lodos activados para la depuración del agua residual.

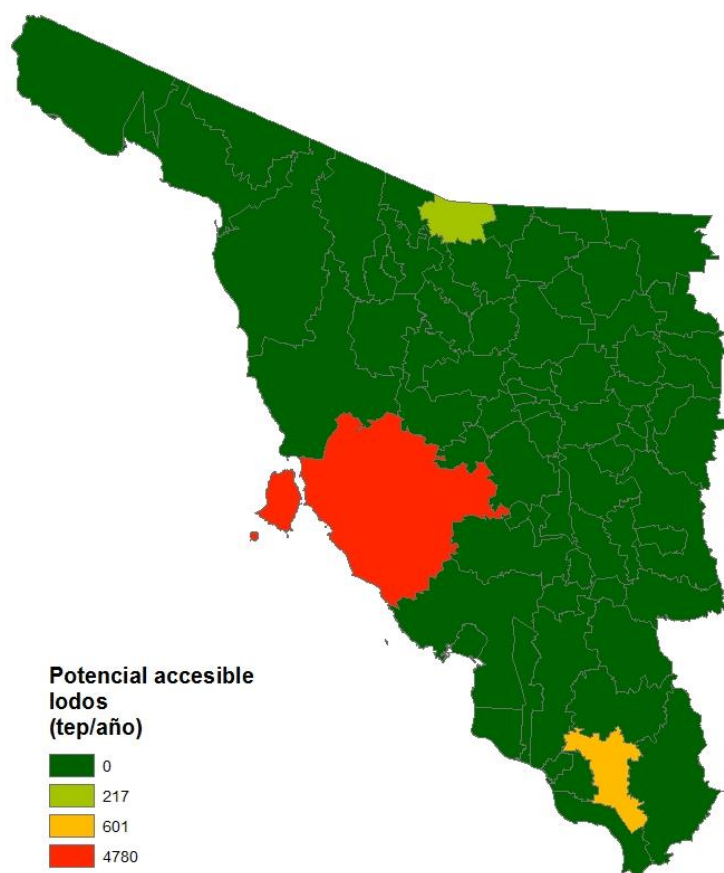


Figura 6.4 Distribución del potencial accesible de lodos de depuradora en el estado de Sonora

6.4 Potencial accesible de residuos orgánicos industriales

Toda la cantidad de residuos orgánicos industriales, que en este caso solo se considera el estiércol de rastros y mataderos, es accesible para su utilización en la generación de biogás por lo que las cantidad correspondientes al total disponible y al total accesible son iguales.

Tabla 6.5 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de residuos orgánicos industriales anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Estiercol rastros ganado bovino					%
	Ganado en pie t/año	Estiercol t/año	SV t/año	Kg CH ₄ /año	tep/año	
HERMOSILLO	32833.00	2298.31	361983.83	36403.63	47.44	23.05
CABORCA	6967.00	487.69	76811.18	7724.67	10.07	4.89
CAJEME	6240.00	436.80	68796.00	6918.61	9.02	4.38
NAVOJOA	5795.00	405.65	63889.88	6425.21	8.37	4.07
AGUA PRIETA	5118.00	358.26	56425.95	5674.59	7.39	3.59
QUIRIEGO	4940.00	345.80	54463.50	5477.23	7.14	3.47
ROSARIO	4735.00	331.45	52203.38	5249.94	6.84	3.32
GUAYMAS	3889.00	272.23	42876.23	4311.93	5.62	2.73
ETCHOJOA	3615.00	253.05	39855.38	4008.14	5.22	2.54
HUATABAMPO	3495.00	244.65	38532.38	3875.09	5.05	2.45
RESTO MUN.	64814.00	4536.98	714574.35	71862.60	93.64	45.50
TOTAL ESTADO	142441.00	9970.87	1570412.03	157931.63	205.79	100.00

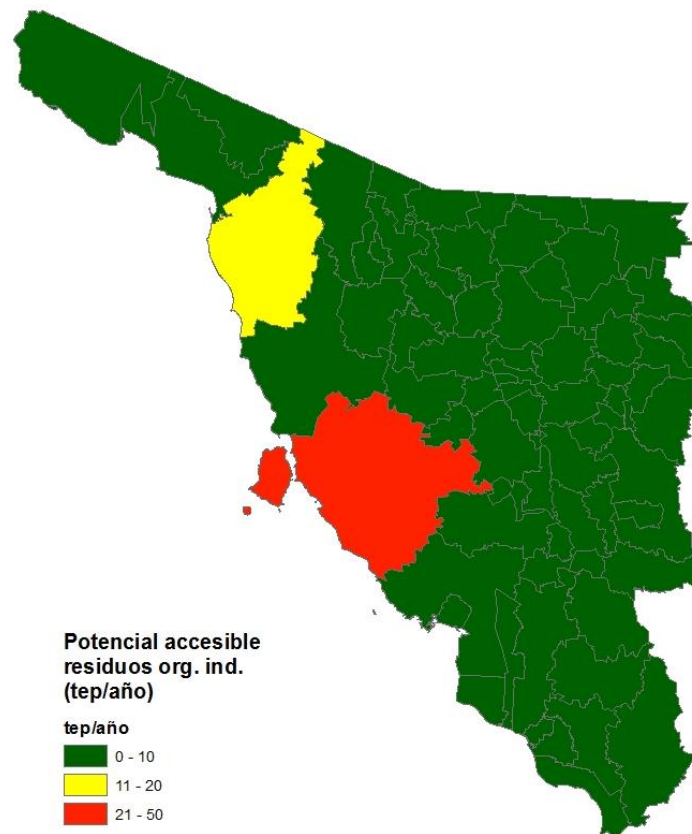


Figura 6.5 Distribución del potencial accesible de residuos orgánicos industriales en el estado de Sonora

6.5 Potencial accesible de residuos agrícolas

Para el potencial total disponible se tomaron en cuenta los residuos provenientes del cultivo de cereales en el estado de Sonora, sin embargo para calcular el potencial accesible en el estado se descartaron el sorgo forrajero en verde, el maíz forrajero en verde, el trigo forrajero en verde así como la avena forrajera en verde. Lo anterior se debe a que estos cultivos están dirigidos exclusivamente para alimento de ganado, por lo que no hay sobrantes. Al descartar los cultivos mencionados se obtiene un total de 522033.70 TEP/año accesible en comparación a los 639801.47 TEP/año disponibles.

Tabla 6.6 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de residuos agrícolas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Producción t/año	Ratrojo t/año	CH ₄ t/año	tep/año	%
CAJEME	531706.00	600387.01	1445.33	135955.02	26.04
NAVOJOA	474027.00	535317.89	1287.66	122289.00	23.43
ETCHOJOA	262313.00	295978.80	716.20	66509.26	12.74
BENITO JUAREZ	194149.00	219079.48	529.90	49414.90	9.47
BACUM	164485.00	185905.49	444.59	42442.81	8.13
HUATABAMPO	141014.00	159027.17	386.24	35577.18	6.82
SAN LUIS RIO					
COLORADO	101364.00	114321.16	277.51	25703.32	4.92
GUAYMAS	94293.00	106330.40	258.38	23777.22	4.55
HERMOSILLO	45607.00	51429.17	124.97	11499.56	2.20
ALTAR	7664.00	8339.45	20.26	1987.15	0.38
RESTO MUN.	26494.00	29884.19	71.15	6877.91	1.32
TOTAL ESTADO	2043116.00	2306000.22	5562.20	522033.33	100.00

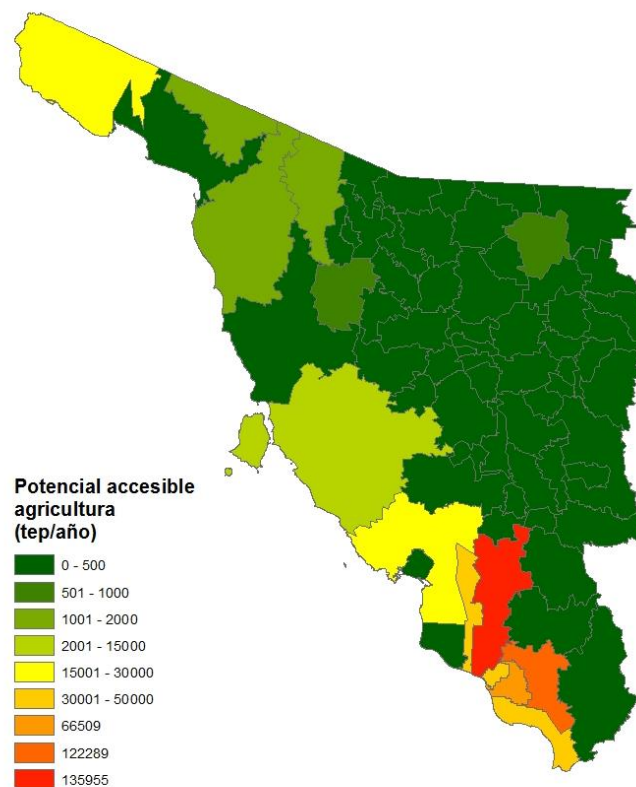


Figura 6.6 Distribución del potencial accesible de residuos agrícolas en el estado de Sonora

7. Estimación de la generación eléctrica

Para calcular la energía eléctrica producida mediante la cogeneración se tomará en consideración un motor de combustión interna. Estos motores cuentan con distintos rangos de potencia que van desde las decenas de kW hasta los 20 MW y pueden alcanzar rendimientos globales (térmico y eléctrico) que varían entre un 70% y un 80% (Chamy, 2007).

La transformación de la energía del combustible en energía eléctrica varía entre un 30 y 40% a través del eje acoplado al motor. El calor recuperable está constituido por intercambiadores de calor que se instalan en el sistema de refrigeración del motor. Los motores requieren 2 sistemas de refrigeración, uno que opera entre los 85 y 99°C y otro que opera entre 40 y 70°C. Estos sistemas enfrían los cilindros del motor, aceite refrigerante y el aire comprimido de entrada. Esta etapa representa alrededor del 30% de la energía suministrada al motor por el combustible (Chamy, 2007).

La otra etapa de recuperación de calor la representan los gases de escape producto de la explosión que se lleva a cabo en los cilindros del motor. Estos salen a una temperatura que fluctúa entre los 350 y 550°C y representan entre un 25 y 35% de la energía aportada por el combustible al motor.

En relación al rendimiento del motor, en la tabla 7.1 se muestran los rendimientos típicos para un motor CAT 352, uno de los más utilizados a nivel europeo, considerando un rendimiento de la caldera de recuperación de un 65% y del intercambiador de calor de un 98%.

Tabla 7.1 Rendimientos típicos para un motor CAT 3520C
Fuente: Chamy, 2007

Rendimiento	Motor combustión interna
Eléctrico	38%
Térmico (gases)	20,7%
Térmico (refrigeración)	19,3%

7.1 Procedimiento para el cálculo de la energía cogenerada a partir de biogás

Para realizar este cálculo se consideran los rendimientos de energía térmica y eléctrica así como también el rendimiento del equipo de recuperación de calor. Esta estimación se basa en un estudio (Chamy, 2007) en donde se toma el caso de Chile como ejemplo.

Se considera un poder calorífico de 5500 kcal/m³ de biogás (1000 kcal =1163 kWh).

7.2 Energía térmica recuperada de los gases del motor de combustión

Un 31.8% de la energía aportada por el combustible se disipa en los gases de combustión. Esta energía disipada puede ser recuperada hasta un 65% al pasar por la caldera de recuperación.

Se utiliza la siguiente ecuación, en donde se tomó un valor de producción anual accesible de biogás en Sonora de 1,465,252,326.52 m³ con referencia a la cantidad total de TEP anuales accesibles y tomando en cuenta que cada TEP equivale a 2000 m³ de biogás.

Et disponible: $(1,465,252,326.52 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}) * (5.500 \text{ kcal/m}^3 \text{ biogás}) * (0.318) * (0.65) = 1,665,772,107.40 \text{ Mcal/año}$

Et disponible: 1, 935,997.36 MWh/año

7.3 Agua de enfriamiento

De los 1, 465,252,326.52 m³ de biogás accesibles al año la energía disponible en el agua de alta temperatura (90 a 99°C) es de un 19.7 % que pasara por un intercambiador de calor de un rendimiento del 98% entonces:

Ec disponible: $(1, 465,252,326.52 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}) * (5.500 \text{ kcal/m}^3 \text{ biogás}) * (0.197) * (0.98) = 1,555,848,877.86 \text{ Mcal/año}$

Ec disponible: 1, 808,242.14 MWh/año

De los 1, 465,252,326.52 m³ de biogás, la energía disponible en el agua de baja temperatura, esto es inferior a 50°C, es de un 10% que también pasará por un intercambiador de calor de rendimiento del 98% entonces:

Ec disponible: $(1, 465,252,326.52 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}) * (5.500 \text{ kcal/m}^3 \text{ biogás}) * (0.10) * (0.98) = 789,771,003.99 \text{ Mcal/año}$

Ec disponible: 917,889.41 MWh/año

Esta energía de baja temperatura se intentará utilizarla para calentar los reactores de producción de biogás que deben estar a unos 35°C. La energía térmica total cogenerada a partir de los sistemas de enfriamiento, será la suma de la energía de ambos sistemas tanto de baja como alta temperatura.

La energía térmica total cogenerada será la suma de la energía de gases y la energía de agua de enfriamiento de alta temperatura lo cual da un total de 4, 662,128.91 MWh/año.

7.4 Energía eléctrica recuperada a partir del biogás

La energía eléctrica corresponde a un 38% de lo recuperado:

Ee disponible: $(1,465,252,326.52 \text{ m}^3 \text{ biogás/año}) * (5.500 \text{ kcal/m}^3 \text{ biogás}) * (0.38) = 3,062,377,362.42 \text{ Mcal/año}$

Ee disponible: 3,559,163.02 MWh/año

Debido a los datos anteriores se puede decir que el estado de Sonora tiene un potencial de cogeneración total de 8,221,291.93 MWh/año.

8. Aprovechamiento de la energía

La seguridad energética es un tema primordial para México como queda plasmado en las distintas leyes y documentos que han sido aprobadas en el país incluyendo la Estrategia Nacional de Energía en donde se afirma que México está en riesgo de convertirse en un importador de energía si no se llevan a cabo acciones para aumentar la oferta energética en el país. El riesgo se vuelve aún más real al probarse que las reservas probadas de petróleo disminuyeron entre 2003 y 2012 un 31.2% en tanto las reservas probables disminuyeron en un 27.2% en el mismo periodo (IGS, 2014).

En ese contexto ha quedado planteada, tanto en la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (2008) y luego la Ley General de Cambio Climático (2012), una meta para el 2024 en donde se tiene como objetivo que al menos un 35% de la energía generada en el país sea a partir de fuentes no fósiles.

Sin embargo con la Reforma Energética del año 2008, se establecieron las bases legales para impulsar las energías renovables en el país, pero en el año 2012 la generación eléctrica a partir de fuentes renovables alcanzaba solo un 13% del total.

En la Reforma Energética del 2013 lo que se plantea a gran escala es crear la apertura del sector eléctrico en cuanto a la generación y distribución de electricidad, sin embargo se centra principalmente en los hidrocarburos como la base de desarrollo y seguridad energética como se menciona en el documento de análisis del sector Energías Renovables para la Competitividad en México elaborado por Tecnológico de Monterrey y el Instituto Global para la Sostenibilidad:

“Es preocupante el que, con excepción de la geotermia, el decreto de Reforma Energética del 2013 no se refiera de manera explícita a las energías renovables, aun cuando refiere a las energías limpias. A pesar de haber incluido al sector eléctrico así como varias referencias a la sustentabilidad energética, la Reforma Energética ha puesto el acento en los hidrocarburos, y en particular en la modernización de Petróleos Mexicanos, como la clave para lograr la competitividad económica y el bienestar de los mexicanos”.

Dentro del documento se mencionan también los factores principales por los cuales en México no se ha aprovechado el potencial para generar electricidad a partir de energías renovables: Problemas estructurales del sector eléctrico, como son la condición monopólica y monopólica de la CFE, la ineficiencia y obsolescencia de la infraestructura de generación y transmisión eléctrica, la manera en que se definen las tarifas eléctricas y los subsidios cruzados a la electricidad, ausencia de políticas públicas, regulaciones e incentivos específicamente diseñados para el impulso de este tipo de energías, la existencia de subsidios a las energías fósiles y la falta del capital humano y de un ecosistema de innovación en el país que pueda apuntalar el desarrollo de tecnologías limpias.

Actualmente, y gracias a las reformas que se han hecho al sector energético incluyendo la del 2012, en México existen varios tipo de permisos para la generación de energía llamados Productores Independientes de Energía (PIE) mediante los cuales compañías privadas generan

electricidad y se la venden directamente a CFE; los permisos de autoabastecimiento a través de los cuales consorcios participan en proyectos de generación y autoconsumo de energía; así como los permisos de cogeneración, importación y exportación de electricidad.

Autoabastecimiento:

El autoabastecimiento es la utilización de energía eléctrica para la satisfacción de las necesidades propias del permisionario o del conjunto de copropietarios o socios.

Cogeneración:

La generación de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, a partir de una fuente energética primaria común.

Producción independiente:

Producción independiente es la generación de energía eléctrica en plantas con capacidad mayor de 30 MW, siempre que la energía eléctrica se destine para su venta al suministrador o a la exportación.

Pequeña producción:

Pequeña producción es la generación de energía eléctrica en:

- Plantas con capacidad menor o igual a 30 MW, y que la energía eléctrica se destine para su venta al suministrador o a la exportación.
- Plantas con capacidad menor o igual a 1 MW, y que la energía eléctrica se destine al autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica.

Las bases de lo anterior así como sus regulaciones para la generación de energía quedan asentadas en la Ley de la Industria Eléctrica en el capítulo II del artículo 17 al 25 que se encuentra integro en el Anexo 2.

A pesar de que el sector eléctrico se ha abierto para la generación de energía a particulares, los lineamientos para llevar a cabo la venta de energía eléctrica a un suministrador aún no se han publicado y no se han expuesto al público. Lo mismo pasa con los precios de compra de energía a los nuevos generadores. Por lo cual no es factible hacer un análisis certero en este momento acerca de la ganancia económica de la venta de la energía eléctrica generada a partir de biogás; así también se ve afectada la capacidad en este estudio de hacer un análisis de viabilidad y de posibles acciones aplicables e iniciativas para incentivar de este tipo de proyectos.

9. Conclusiones

En el estado de Sonora es posible identificar claramente las fuentes de residuos orgánicos para su aprovechamiento en la generación de biogás. A pesar de que su identificación es fácil, resulta complicado conseguir datos fidedignos ya que no hay mucha información estadística acerca de la generación y tratamiento de tales residuos. Sin embargo a lo difícil en el presente trabajo se logró recopilar información a través de diversas fuentes para estimar un potencial.

A partir de los datos recopilados así como a las diversas fuentes consultadas y ecuaciones mencionadas con anterioridad se llegó a la estimación de que el estado de Sonora cuenta con un potencial accesible de 732,626.16 TEP/año lo que equivale a 8, 221,291.93 MWh/año cifra que podría representar hasta el 74% del total de las ventas en el estado en un año.

Los municipios que aportan el mayor porcentaje a la cifra anterior son Cajeme, Navojoa, Hermosillo, Etchojoa, Benito Juárez y Bácum. Entre estos 6 municipios se genera el 89.75% del potencial total accesible del estado por lo que la concentración estatal se sitúa casi por completo en esta zona que equivale a 29,673 km² lo que es el 16.5% del total estatal.

La razón por la cual esos municipios son los que aportan más al total estatal es que se encuentran en medio de una zona agrícola y ganadera muy grande llamada Valle del Yaqui y Valle del Mayo por lo que dentro de su territorio se encuentra mucha materia orgánica con potencial de uso, además que 3 de ellas son de las ciudades más grandes de la entidad lo que significa mayor población así como mayor generación de residuos.

Los residuos que más aportan al potencial accesible total son los generados por la ganadería (24.44%) y la agronomía (71.16%) debido a que, aunque la mayor parte del ganado estatal es bovino y se encuentra en libre pastoreo, las granjas porcinas y avícolas tienen gran arraigo en la entidad por lo que la concentración de purín en las granjas son de gran importancia para este potencial. Con respecto a la agronomía el potencial se debe a que la entidad se caracteriza por tener grandes producciones de cosechas, especialmente de grano, por lo que la generación de rastrojo es elevada.

La fracción orgánica de los residuos municipales aporta un 3.59%, los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales aportan un 0.76% y los residuos orgánicos industriales un 0.02% del total.

Cabe mencionar que actualmente, aunque el potencial para la generación de biogás es grande en el estado, no se cuentan a nivel estatal bases de datos que ayuden a saber con precisión datos que ayuden a facilitar este tipo de trabajo. Otra traba que se puede encontrar para este tipo de proyectos es que hacen falta incentivos para el desarrollo de los mismos, ya que aunque con la Reforma Energética del 2013 se abrió más el ramo para la generación y venta de energía eléctrica, se centra más que nada en los hidrocarburos dejando de lado cualquier incentivo para la generación de energía a partir de fuentes renovables.

Los resultados del presente estudio pueden ayudar a un mayor conocimiento del potencial energético de los substratos orgánicos y servir de base para el desarrollo de proyectos específicos que incentiven el mercado energético.

10. Bibliografía

Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM). Guía de la prevención de la contaminación del recurso hídrico, caracterización y tratamiento de las aguas residuales para el sector de hospitales. Corporación para la investigación socioeconómica y tecnología (CINSET). Panamá. (2003).

Bonmatí, A. Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. (2008).
[http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Cap%C3%ADulo8.pdf]

Campuzano, R., González, S., Posadas, R. Lixiviación de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales de la Ciudad de México. (2010).

Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Sonora (PEPGIR). México.
[http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pepgir_sonora.pdf]

Comisión Nacional del Agua. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Operación, Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. (2013).
[http://www.cmic.org/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/estadisticas/Estadisticas_2014-2018/Publicaciones2014/Inventario%20Nacional%20de%20Planta%20Municipales%20De%20Potabilizaci%C3%B3n_SGAPDS-5-14.pdf]

Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. (2006).

Flotats, X. Análisis prospectivo de la producción y aprovechamiento energético de biogás en España. (2007). IDAE- Ministerio de Industria y Energía. Gobierno de España.

Hill, DT. Design of digestion systems for maximum methane production. Trans. Of ASAE. (1982). 25:1, 226.

Hill, DT. Design of digestion systems for maximum methane production. Trans. Of ASAE. (1982). 25:1, 226.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Rastrojos; Manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. México. (2013).
[<http://conservacion.cimmyt.org/index.php/libros->]

Instituto Nacional de Ecología (INE). Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector aguas residuales en México. México. (2013).
[http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_est_pol_med_ins_gei.pdf]

López, M., Peñaloza, T. Sistema para generar bioenergía a partir de desechos pecuarios en el centro de investigación de la facultad de veterinaria de la UNAM en Chapa de Mota, estado de México. (2012). P. 76.

Nennich., T.D., J.H. Harrison., L.M. VanWleringen., D. Meyer.,A.J. Heinrichs., W.P. Weiss., N.R. St-Pierre., R.L. Kincaid., D.L. Davidson., y E. Block. Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. Journal of Dairy science. (2005).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera en el Estado de Sonora (SIAP).
[<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>]

Wang, G. Biogas Production from Energy Crops and Agriculture Residues. (2010). PhD Thesis, Technical University of Denmark.

11. Anexos

11.1 Anexo 1: TEP disponibles y accesibles totales

Tabla 11.1 Toneladas equivalentes de petróleo totales disponibles anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Ganadería tep/año	Agricultura tep/año	RSU tep/año	Lodos tep/año	Org. Ind. tep/año	Total tep/año	%
ACONCHI	137.57	95.01	25.38	9.60	1.05	268.60	0.03
AGUA PRIETA	563.84	2873.25	789.08	328.71	7.39	4562.27	0.52
ALAMOS	2030.84	0.00	246.77	32.55	4.16	2314.32	0.26
ALTAR	1053.53	2973.77	87.90	9.76	2.09	4127.06	0.47
ARIVECHI	336.31	1375.31	11.43	2.60	1.39	1727.04	0.20
ARIZPE	777.12	3394.57	28.49	10.74	2.16	4213.08	0.48
ATIL	40.08	468.00	5.34	2.60	0.27	516.30	0.06
BACADEHUACHI	269.34	1135.77	11.35	5.37	1.22	1423.04	0.16
BACANORA	184.41	577.25	7.22	0.00	0.97	769.85	0.09
BACERAC	244.27	552.96	14.34	0.00	1.36	812.93	0.09
BACOACHI	793.14	1327.25	16.29	3.91	0.96	2141.54	0.24
BACUM	2539.31	42452.71	222.74	0.00	2.32	45217.08	5.12
BANAMICHI	228.50	1831.00	15.95	7.97	1.86	2085.29	0.24
BAVIACORA	484.56	1626.35	33.34	8.46	2.28	2154.99	0.24
BAVISPE	201.82	287.99	14.16	0.00	1.19	505.17	0.06
BENITO JUAREZ	763.46	49414.90	213.27	0.00	0.41	50392.04	5.70
BENJAMIN HILL	240.20	314.79	49.00	22.62	1.99	628.61	0.07
CABORCA	1980.77	2396.92	820.35	0.00	10.07	5208.11	0.59
CAJEME	72701.81	135975.39	4024.28	2617.01	9.02	215327.50	24.36
CANANEA	684.60	472.05	312.19	37.75	2.56	1509.15	0.17
CARBO	956.10	1477.41	53.60	18.88	0.86	2506.85	0.28
CUCURPE	490.27	1795.38	9.60	2.60	1.04	2298.90	0.26
CUMPAS	568.27	8292.24	61.92	10.90	2.86	8936.19	1.01
DIVISADEROS	122.32	2195.71	8.30	3.74	0.86	2330.93	0.26
EMPALME	160.25	1216.15	524.74	135.39	2.15	2038.68	0.23
ETCHOJOA	1309.27	66509.26	591.56	0.00	5.22	68415.31	7.74
FRONTERAS	579.57	7658.56	86.58	2.93	2.34	8329.98	0.94
GRANADOS	146.43	339.22	11.55	5.70	0.74	503.63	0.06
GUAYMAS	2354.71	26507.52	1478.42	512.91	5.62	30859.17	3.49
HERMOSILLO	59316.76	25116.05	7821.50	4781.59	47.44	97083.33	10.98
HUACHINERAS	277.99	181.25	13.10	4.88	1.25	478.47	0.05
HUASABAS	222.12	256.49	9.22	4.23	1.24	493.30	0.06
HUATABAMPO	740.74	35577.18	764.66	14.65	5.05	37102.28	4.20
HUEPAC	145.91	1301.34	11.10	3.42	0.90	1462.67	0.17
IMURIS	395.96	1349.90	124.40	0.00	2.17	1872.44	0.21

Tabla 11.1 Continuación

Municipio	Ganadería tep/año	Agricultura tep/año	RSU tep/año	Lodos tep/año	Org. Ind. tep/año	Total tep/año	%
LA COLORADA	729.74	4124.38	14.86	4.23	3.36	4876.57	0.55
MAGDALENA	381.51	1189.13	299.86	112.77	3.96	1987.23	0.22
MAZATAN	200.92	2333.18	12.37	5.86	0.95	2553.28	0.29
MOCTEZUMA	189.97	2421.12	45.60	20.99	2.30	2679.99	0.30
NACO	173.08	473.69	61.73	25.22	0.22	733.95	0.08
NACORI CHICO	590.64	2082.10	20.41	2.77	2.91	2698.84	0.31
NACOZARI DE GARCIA	204.21	0.00	123.99	0.00	1.08	329.28	0.04
NAVOJOA	39002.17	122304.13	1545.45	601.00	8.37	163461.12	18.49
NOGALES	354.86	1041.91	2202.37	1359.74	1.81	4960.68	0.56
ONAVAS	140.63	1124.50	3.70	1.30	0.58	1270.72	0.14
OPODEPE	212.67	3968.07	27.63	1.30	1.78	4211.45	0.48
OQUITOA	67.00	290.56	4.32	0.00	0.24	362.12	0.04
PITQUITO	244.61	657.52	90.51	0.00	1.30	993.95	0.11
PLUTARCO ELIAS CALLES	143.63	1422.14	162.33	33.36	0.50	1761.96	0.20
PUERTO PEÑASCO	10.31	0.00	603.46	132.62	0.00	746.38	0.08
QUIRIEGO	1495.93	0.00	32.16	2.60	7.14	1537.84	0.17
RAYON	374.69	5053.42	14.80	6.67	1.28	5450.85	0.62
ROSARIO	1016.90	0.00	48.65	0.00	6.84	1072.39	0.12
SAHUARIPA	1004.58	2292.84	56.75	15.95	4.27	3374.39	0.38
SAN FELIPE DE JESUS	34.27	832.47	4.14	1.69	0.44	873.02	0.10
SAN IGNACIO RIO MUERTO	421.73	0.00	136.25	0.00	1.66	559.64	0.06
SAN JAVIER	62.19	48.63	6.18	0.00	0.25	117.25	0.01
SAN LUIS RIO COLORADO	96.35	26227.06	1776.64	509.33	0.14	28609.53	3.24
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	344.34	2134.61	91.80	10.90	0.14	2581.79	0.29
SAN PEDRO DE LA CUEVA	353.06	1429.58	15.72	7.65	1.67	1807.68	0.20
SANTA ANA	391.22	4385.23	156.84	0.00	2.15	4935.44	0.56
SANTA CRUZ	211.76	1176.88	19.56	1.95	0.26	1410.41	0.16
SARIC	286.07	1139.70	25.77	8.95	1.12	1461.61	0.17
SOYOPA	224.76	1006.25	12.08	0.00	1.36	1244.45	0.14
SUAQUI GRANDE	160.23	461.17	10.32	4.39	0.79	636.90	0.07
TEPACHE	199.21	569.85	13.47	5.21	0.85	788.59	0.09
TRINCHERAS	246.16	2417.76	16.21	1.46	1.54	2683.13	0.30
TUBUTAMA	189.05	6835.87	15.94	1.79	0.33	7042.98	0.80
URES	844.67	8195.27	88.81	10.25	3.57	9142.59	1.03
VILLA HIDALGO	357.62	437.65	16.90	5.04	1.57	818.79	0.09
VILLA PESQUEIRA	233.08	2347.35	11.06	2.28	1.99	2595.76	0.29
YECORA	807.92	58.53	56.09	7.00	2.60	932.14	0.11
TOTAL	206043.88	639801.47	26363.87	11505.75	205.79	883920.76	100.00

Tabla 11.2 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de deyecciones ganaderas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Bovino		Porcino		Gallinas ponedoras		Total	
	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%
ACONCHI	137.57	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	137.57	0.07
AGUA PRIETA	556.26	1.18	7.58	0.01	0.00	0.00	563.84	0.27
ALAMOS	2023.19	4.28	7.65	0.01	0.00	0.00	2030.84	0.99
ALTAR	1046.97	2.22	6.56	0.00	0.00	0.00	1053.53	0.51
ARIVECHI	335.16	0.71	1.15	0.00	0.00	0.00	336.31	0.16
ARIZPE	621.89	1.32	155.23	0.12	0.00	0.00	777.12	0.38
ATIL	40.02	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	40.08	0.02
BACADEHUACHI	269.27	0.57	0.07	0.00	0.00	0.00	269.34	0.13
BACANORA	184.27	0.39	0.14	0.00	0.00	0.00	184.41	0.09
BACERAC	244.14	0.52	0.14	0.00	0.00	0.00	244.27	0.12
BACOACHI	362.10	0.77	431.04	0.32	0.00	0.00	793.14	0.38
BACUM	566.23	1.20	4.60	0.00	1968.47	8.00	2539.31	1.23
BANAMICHI	227.63	0.48	0.88	0.00	0.00	0.00	228.50	0.11
BAVIACORA	484.56	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	484.56	0.24
BAVISPE	200.26	0.42	1.56	0.00	0.00	0.00	201.82	0.10
BENITO JUAREZ	155.77	0.33	1.96	0.00	605.73	2.46	763.46	0.37
BENJAMIN HILL	240.00	0.51	0.20	0.00	0.00	0.00	240.20	0.12
CABORCA	1980.77	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00	1980.77	0.96
CAJEME	9105.32	19.27	54510.94	40.62	9085.55	36.93	72701.81	35.28
CANANEA	670.32	1.42	14.28	0.01	0.00	0.00	684.60	0.33
CARBO	952.72	2.02	3.38	0.00	0.00	0.00	956.10	0.46
CUCURPE	490.06	1.04	0.20	0.00	0.00	0.00	490.27	0.24
CUMPAS	567.73	1.20	0.54	0.00	0.00	0.00	568.27	0.28
DIVISADEROS	122.32	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	122.32	0.06
EMPALME	159.65	0.34	0.61	0.00	0.00	0.00	160.25	0.08
ETCHOJOA	234.90	0.50	2.37	0.00	1072.00	4.36	1309.27	0.64
FRONTERAS	573.07	1.21	6.50	0.00	0.00	0.00	579.57	0.28
GRANADOS	146.43	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	146.43	0.07
GUAYMAS	1655.48	3.50	17.66	0.01	681.56	2.77	2354.71	1.14
HERMOSILLO	9081.32	19.22	45369.24	33.81	4866.20	19.78	59316.76	28.79
HUACHINERAS	277.99	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	277.99	0.13
HUASABAS	222.12	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	222.12	0.11
HUATABAMPO	347.45	0.74	393.29	0.29	0.00	0.00	740.74	0.36
HUEPAC	145.84	0.31	0.07	0.00	0.00	0.00	145.91	0.07
IMURIS	391.23	0.83	4.74	0.00	0.00	0.00	395.96	0.19
LA COLORADA	721.35	1.53	8.39	0.01	0.00	0.00	729.74	0.35

Tabla 11.2 Continuación

Municipio	Bovino		Porcino		Gallinas ponedoras		Total	
	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%	tep/año	%
MAGDALENA	378.53	0.80	2.98	0.00	0.00	0.00	381.51	0.19
MAZATAN	193.47	0.41	7.44	0.01	0.00	0.00	200.92	0.10
MOCTEZUMA	189.50	0.40	0.47	0.00	0.00	0.00	189.97	0.09
NACO	173.08	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	173.08	0.08
NACORI CHICO	586.85	1.24	3.79	0.00	0.00	0.00	590.64	0.29
NACUZARI DE GARCIA	203.80	0.43	0.41	0.00	0.00	0.00	204.21	0.10
NAVOJOA	974.02	2.06	32976.53	24.58	5051.62	20.53	39002.17	18.93
NOGALES	351.47	0.74	3.38	0.00	0.00	0.00	354.86	0.17
ONAVAS	140.56	0.30	0.07	0.00	0.00	0.00	140.63	0.07
OPODEPE	212.00	0.45	0.68	0.00	0.00	0.00	212.67	0.10
OQUITOA	67.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	67.00	0.03
PITQUITO	242.04	0.51	2.57	0.00	0.00	0.00	244.61	0.12
PLUTARCO ELIAS CALLES	134.63	0.28	9.00	0.01	0.00	0.00	143.63	0.07
PUERTO PEÑASCO	10.31	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	10.31	0.01
QUIRIEGO	879.79	1.86	10.42	0.01	605.73	2.46	1495.93	0.73
RAYON	273.19	0.58	101.50	0.08	0.00	0.00	374.69	0.18
ROSARIO	713.05	1.51	1.08	0.00	302.77	1.23	1016.90	0.49
SAHUARIPA	1004.17	2.12	0.41	0.00	0.00	0.00	1004.58	0.49
SAN FELIPE DE JESUS	34.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	34.27	0.02
SAN IGNACIO RIO MUERTO	270.05	0.57	0.20	0.00	151.48	0.62	421.73	0.20
SAN JAVIER	61.85	0.13	0.34	0.00	0.00	0.00	62.19	0.03
SAN LUIS RIO COLORADO	29.23	0.06	67.13	0.05	0.00	0.00	96.35	0.05
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	335.81	0.71	8.53	0.01	0.00	0.00	344.34	0.17
SAN PEDRO DE LA CUEVA	352.66	0.75	0.41	0.00	0.00	0.00	353.06	0.17
SANTA ANA	376.60	0.80	14.62	0.01	0.00	0.00	391.22	0.19
SANTA CRUZ	211.76	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	211.76	0.10
SARIC	285.46	0.60	0.61	0.00	0.00	0.00	286.07	0.14
SOYOPA	224.49	0.48	0.27	0.00	0.00	0.00	224.76	0.11
SUAQUI GRANDE	160.17	0.34	0.07	0.00	0.00	0.00	160.23	0.08
TEPACHE	198.40	0.42	0.81	0.00	0.00	0.00	199.21	0.10
TRINCHERAS	244.94	0.52	1.22	0.00	0.00	0.00	246.16	0.12
TUBUTAMA	188.71	0.40	0.34	0.00	0.00	0.00	189.05	0.09
URES	625.36	1.32	9.07	0.01	210.25	0.85	844.67	0.41
VILLA HIDALGO	356.68	0.75	0.95	0.00	0.00	0.00	357.62	0.17
VILLA PESQUEIRA	229.90	0.49	3.18	0.00	0.00	0.00	233.08	0.11
YECORA	805.82	1.71	2.10	0.00	0.00	0.00	807.92	0.39
TOTAL	47260.95	100.00	134181.58	100.00	24601.35	100.00	206043.88	100.00

Tabla 11.3 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de la FORM anual y porcentaje por municipio

Municipio	RSU t/año	Fracción orgánica t/año	tep/año	%
ACONCHI	741.88	351.28	25.38	0.10
AGUA PRIETA	23068.85	10923.10	789.08	2.99
ALAMOS	7214.39	3416.01	246.77	0.94
ALTAR	2569.66	1216.73	87.90	0.33
ARIVECHI	334.02	158.16	11.43	0.04
ARIZPE	832.81	394.34	28.49	0.11
ATIL	156.10	73.91	5.34	0.02
BACADEHUACHI	331.92	157.16	11.35	0.04
BACANORA	211.03	99.92	7.22	0.03
BACERAC	419.17	198.48	14.34	0.05
BACOACHI	476.19	225.48	16.29	0.06
BACUM	6511.92	3083.39	222.74	0.84
BANAMICHI	466.21	220.75	15.95	0.06
BAVIACORA	974.73	461.53	33.34	0.13
BAVISPE	413.91	195.99	14.16	0.05
BENITO JUAREZ	6234.93	2952.24	213.27	0.81
BENJAMIN HILL	1432.52	678.30	49.00	0.19
CABORCA	23982.87	11355.89	820.35	3.11
CAJEME	117649.52	55707.05	4024.28	15.26
CANANEA	9126.78	4321.53	312.19	1.18
CARBO	1567.08	742.01	53.60	0.20
CUCURPE	280.67	132.90	9.60	0.04
CUMPAS	1810.17	857.11	61.92	0.23
DIVISADEROS	242.56	114.85	8.30	0.03
EMPALME	15340.69	7263.82	524.74	1.99
ETCHOJOA	17294.08	8188.75	591.56	2.24
FRONTERAS	2531.29	1198.57	86.58	0.33
GRANADOS	337.70	159.90	11.55	0.04
GUAYMAS	43221.40	20465.33	1478.42	5.61
HERMOSILLO	228661.23	108271.09	7821.50	29.67
HUACHINERAS	382.90	181.30	13.10	0.05
HUASABAS	269.63	127.67	9.22	0.03
HUATABAMPO	22354.82	10585.01	764.66	2.90
HUEPAC	324.56	153.68	11.10	0.04
IMURIS	3636.89	1722.07	124.40	0.47
LA COLORADA	434.41	205.69	14.86	0.06

Tabla 11.3 Continuación

Municipio	RSU t/año	Fracción orgánica t/año	tep/año	%
MAGDALENA	8766.48	4150.93	299.86	1.14
MAZATAN	361.61	171.22	12.37	0.05
MOCTEZUMA	1333.18	631.26	45.60	0.17
NACO	1804.65	854.50	61.73	0.23
NACORI CHICO	596.82	282.59	20.41	0.08
NACUZARI DE GARCIA	3624.80	1716.34	123.99	0.47
NAVOJOA	45181.10	21393.25	1545.45	5.86
NOGALES	64386.26	30486.90	2202.37	8.35
ONAVAS	108.27	51.27	3.70	0.01
OPODEPE	807.85	382.52	27.63	0.10
OQUITOA	126.41	59.85	4.32	0.02
PITQUITO	2646.13	1252.94	90.51	0.34
PLUTARCO ELIAS CALLES	4745.64	2247.06	162.33	0.62
PUERTO PEÑASCO	17642.03	8353.50	603.46	2.29
QUIRIEGO	940.30	445.23	32.16	0.12
RAYON	432.57	204.82	14.80	0.06
ROSARIO	1422.27	673.45	48.65	0.18
SAHUARIPA	1659.06	785.56	56.75	0.22
SAN FELIPE DE JESUS	121.15	57.36	4.14	0.02
SAN IGNACIO RIO MUERTO	3983.26	1886.07	136.25	0.52
SAN JAVIER	180.54	85.49	6.18	0.02
SAN LUIS RIO COLORADO	51940.05	24593.62	1776.64	6.74
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	2683.71	1270.74	91.80	0.35
SAN PEDRO DE LA CUEVA	459.64	217.64	15.72	0.06
SANTA ANA	4585.33	2171.16	156.84	0.59
SANTA CRUZ	571.85	270.77	19.56	0.07
SARIC	753.45	356.76	25.77	0.10
SOYOPA	353.20	167.24	12.08	0.05
SUAQUI GRANDE	301.69	142.85	10.32	0.04
TEPACHE	393.94	186.53	13.47	0.05
TRINCHERAS	473.83	224.36	16.21	0.06
TUBUTAMA	465.94	220.62	15.94	0.06
URES	2596.46	1229.43	88.81	0.34
VILLA HIDALGO	494.06	233.94	16.90	0.06
VILLA PESQUEIRA	323.24	153.06	11.06	0.04
YECORA	1639.87	776.48	56.09	0.21
TOTAL	770746.15	364948.30	26363.87	100.00

Tabla 11.4 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de lodos de depuradora anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Toneladas de DBO/año por tipo de tecnología							
	Lagunas de estabilización	Lodos activados	Lagunas aireadas	Fosa séptica	Humedales	Total	tep/año	%
ACONCHI	40.93	0.00	0.00	0.00	0.00	40.93	9.60	0.08
AGUA PRIETA	1401.46	0.00	0.00	0.00	0.00	1401.46	328.71	2.86
ALAMOS	138.76	0.00	0.00	0.00	0.00	138.76	32.55	0.28
ALTAR	41.63	0.00	0.00	0.00	0.00	41.63	9.76	0.08
ARIVECHI	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	2.60	0.02
ARIZPE	1638.74	0.00	0.00	0.00	0.00	1638.74	10.74	0.09
ATIL	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	2.60	0.02
BACADEHUACHI	22.90	0.00	0.00	0.00	0.00	22.90	5.37	0.05
BACANORA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACERAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACOACHI	16.65	0.00	0.00	0.00	0.00	16.65	3.91	0.03
BACUM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BANAMICHI	84.64	0.00	0.00	0.00	0.00	84.64	7.97	0.07
BAVIACORA	36.08	0.00	0.00	0.00	0.00	36.08	8.46	0.07
BAVISPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BENITO JUAREZ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BENJAMIN HILL	96.44	0.00	0.00	0.00	0.00	96.44	22.62	0.20
CABORCA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAJEME	510.63	0.00	8084.76	0.00	0.00	8595.39	2617.01	22.75
CANANEA	160.96	0.00	0.00	0.00	0.00	160.96	37.75	0.33
CARBO	80.48	0.00	0.00	0.00	0.00	80.48	18.88	0.16
CUCURPE	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	2.60	0.02
CUMPAS	46.48	0.00	0.00	0.00	0.00	46.48	10.90	0.09
DIVISADEROS	15.96	0.00	0.00	0.00	0.00	15.96	3.74	0.03
EMPALME	577.23	0.00	0.00	0.00	0.00	577.23	135.39	1.18
ETCHOJOA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FRONTERAS	904.70	0.00	0.00	0.00	0.00	904.70	2.93	0.03
GRANADOS	24.28	0.00	0.00	0.00	0.00	24.28	5.70	0.05
GUAYMAS	2211.12	0.00	0.00	0.00	0.00	2211.12	512.91	4.46
HERMOSILLO	4.86	15286.32	0.00	0.00	0.00	15291.18	4781.59	41.56
HUACHINERAS	20.81	0.00	0.00	0.00	0.00	20.81	4.88	0.04
HUASABAS	18.04	0.00	0.00	0.00	0.00	18.04	4.23	0.04
HUATABAMPO	101.29	0.00	0.00	0.00	0.00	101.29	14.65	0.13
HUEPAC	14.57	0.00	0.00	0.00	0.00	14.57	3.42	0.03
IMURIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 11.4 Continuación

Municipio	Lagunas de estabilización	Lodos activados	Lagunas aireadas	Fosa séptica	Humedales	Total	tep/año	%
LA COLORADA	32.61	0.00	0.00	0.00	0.00	32.61	4.23	0.04
MAGDALENA	480.80	0.00	0.00	0.00	0.00	480.80	112.77	0.98
MAZATAN	24.98	0.00	0.00	0.00	0.00	24.98	5.86	0.05
MOCTEZUMA	89.50	0.00	0.00	0.00	0.00	89.50	20.99	0.18
NACO	107.54	0.00	0.00	0.00	0.00	107.54	25.22	0.22
NACORI CHICO	11.79	0.00	0.00	0.00	0.00	11.79	2.77	0.02
NACUZARI DE GARCIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NAVOJOA	0.00	1921.80	0.00	0.00	0.00	1921.80	601.00	5.22
NOGALES	714.61	693.79	3654.20	0.00	0.00	5062.60	1359.74	11.82
ONAVAS	5.55	0.00	0.00	0.00	0.00	5.55	1.30	0.01
OPODEPE	5.55	0.00	0.00	0.00	0.00	5.55	1.30	0.01
OQUITOA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PITQUITO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PLUTARCO ELIAS	142.23	0.00	0.00	0.00	0.00	142.23	33.36	0.29
PUERTO PEÑASCO	565.44	0.00	0.00	0.00	0.00	565.44	132.62	1.15
QUIRIEGO	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	2.60	0.02
RAYON	28.45	0.00	0.00	0.00	0.00	28.45	6.67	0.06
ROSARIO	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	1.61	0.00	0.00
SAHUARIPA	826.31	0.00	0.00	0.00	0.00	826.31	15.95	0.14
SAN FELIPE DE JESUS	7.22	0.00	0.00	0.00	0.00	7.22	1.69	0.01
SAN IGNACIO RIO MUERTO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN JAVIER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN LUIS RIO COLORADO	2171.57	0.00	0.00	0.00	0.00	2171.57	509.33	4.43
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	2225.27	0.00	0.00	0.11	0.00	2225.38	10.90	0.09
SAN PEDRO DE LA CUEVA	32.61	0.00	0.00	0.00	0.00	32.61	7.65	0.07
SANTA ANA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SANTA CRUZ	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	8.33	1.95	0.02
SARIC	79.09	0.00	0.00	0.00	0.00	79.09	8.95	0.08
SOYOPA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SUAQUI GRANDE	18.73	0.00	0.00	0.00	0.00	18.73	4.39	0.04
TEPACHE	22.20	0.00	0.00	0.00	0.00	22.20	5.21	0.05
TRINCHERAS	6.24	0.00	0.00	0.00	0.00	6.24	1.46	0.01
TUBUTAMA	7.63	0.00	0.00	0.00	0.00	7.63	1.79	0.02
URES	98.52	0.00	0.00	0.00	0.00	98.52	10.25	0.09
VILLA HIDALGO	21.51	0.00	0.00	0.00	0.00	21.51	5.04	0.04
VILLA PESQUEIRA	9.71	0.00	0.00	0.00	0.00	9.71	2.28	0.02
YECORA	29.83	0.00	0.00	0.00	0.00	29.83	7.00	0.06
TOTAL	16027.84	17901.91	11738.96	0.11	1.61	45670.44	11505.75	100.00

Tabla 11.5 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de residuos orgánicos industriales anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Estiercol rastros ganado bovino					%
	Ganado en pie t/año	Estiercol t/año	SV t/año	Kg CH ₄ /año	tep/año	
ACONCHI	726.00	50.82	8004.15	804.95	1.05	0.51
AGUA PRIETA	5118.00	358.26	56425.95	5674.59	7.39	3.59
ALAMOS	2878.00	201.46	31729.95	3190.99	4.16	2.02
ALTAR	1447.00	101.29	15953.18	1604.36	2.09	1.02
ARIVECHI	959.00	67.13	10572.98	1063.29	1.39	0.67
ARIZPE	1495.00	104.65	16482.38	1657.58	2.16	1.05
ATIL	187.00	13.09	2061.68	207.34	0.27	0.13
BACADEHUACHI	841.00	58.87	9272.03	932.46	1.22	0.59
BACANORA	673.00	47.11	7419.83	746.19	0.97	0.47
BACERAC	941.00	65.87	10374.53	1043.33	1.36	0.66
BACOACHI	666.00	46.62	7342.65	738.43	0.96	0.47
BACUM	1603.00	112.21	17673.08	1777.33	2.32	1.13
BANAMICHI	1289.00	90.23	14211.23	1429.18	1.86	0.90
BAVIACORA	1577.00	110.39	17386.43	1748.50	2.28	1.11
BAVISPE	826.00	57.82	9106.65	915.83	1.19	0.58
BENITO JUAREZ	286.00	20.02	3153.15	317.10	0.41	0.20
BENJAMIN HILL	1377.00	96.39	15181.43	1526.75	1.99	0.97
CABORCA	6967.00	487.69	76811.18	7724.67	10.07	4.89
CAJEME	6240.00	436.80	68796.00	6918.61	9.02	4.38
CANANEA	1774.00	124.18	19558.35	1966.92	2.56	1.25
CARBO	593.00	41.51	6537.83	657.49	0.86	0.42
CUCURPE	723.00	50.61	7971.08	801.63	1.04	0.51
CUMPAS	1980.00	138.60	21829.50	2195.33	2.86	1.39
DIVISADEROS	598.00	41.86	6592.95	663.03	0.86	0.42
EMPALME	1488.00	104.16	16405.20	1649.82	2.15	1.04
ETCHOJOA	3615.00	253.05	39855.38	4008.14	5.22	2.54
FRONTERAS	1617.00	113.19	17827.43	1792.85	2.34	1.14
GRANADOS	511.00	35.77	5633.78	566.57	0.74	0.36
GUAYMAS	3889.00	272.23	42876.23	4311.93	5.62	2.73
HERMOSILLO	32833.00	2298.31	361983.83	36403.63	47.44	23.05
HUACHINERAS	868.00	60.76	9569.70	962.40	1.25	0.61
HUASABAS	858.00	60.06	9459.45	951.31	1.24	0.60
HUATABAMPO	3495.00	244.65	38532.38	3875.09	5.05	2.45
HUEPAC	622.00	43.54	6857.55	689.64	0.90	0.44
IMURIS	1503.00	105.21	16570.58	1666.45	2.17	1.06

Tabla 11.5 Continuación

Municipio	Ganado en pie t/año	Estiercol t/año	SV t/año	Kg CH ₄ /año	tep/año	%
LA COLORADA	2327.00	162.89	25655.18	2580.06	3.36	1.63
MAGDALENA	2742.00	191.94	30230.55	3040.20	3.96	1.93
MAZATAN	659.00	46.13	7265.48	730.67	0.95	0.46
MOCTEZUMA	1592.00	111.44	17551.80	1765.13	2.30	1.12
NACO	155.00	10.85	1708.88	171.86	0.22	0.11
NACORI CHICO	2015.00	141.05	22215.38	2234.13	2.91	1.41
NACOZARI DE						
GARCIA	748.00	52.36	8246.70	829.35	1.08	0.53
NAVOJOA	5795.00	405.65	63889.88	6425.21	8.37	4.07
NOGALES	1253.00	87.71	13814.33	1389.27	1.81	0.88
ONAVAS	402.00	28.14	4432.05	445.72	0.58	0.28
OPODEPE	1229.00	86.03	13549.73	1362.66	1.78	0.86
OQUITOA	166.00	11.62	1830.15	184.05	0.24	0.12
PITQUITO	902.00	63.14	9944.55	1000.09	1.30	0.63
PLUTARCO ELIAS						
CALLES	346.00	24.22	3814.65	383.63	0.50	0.24
PUERTO						
PEÑASCO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QUIRIEGO	4940.00	345.80	54463.50	5477.23	7.14	3.47
RAYON	883.00	61.81	9735.08	979.03	1.28	0.62
ROSARIO	4735.00	331.45	52203.38	5249.94	6.84	3.32
SAHUARIPA	2959.00	207.13	32622.98	3280.79	4.27	2.08
SAN FELIPE DE						
JESUS	308.00	21.56	3395.70	341.50	0.44	0.22
SAN IGNACIO						
RIO MUERTO	1149.00	80.43	12667.73	1273.96	1.66	0.81
SAN JAVIER	171.00	11.97	1885.28	189.60	0.25	0.12
SAN LUIS RIO						
COLORADO	97.00	6.79	1069.43	107.55	0.14	0.07
SAN MIGUEL DE						
HORCASITAS	98.00	6.86	1080.45	108.66	0.14	0.07
SAN PEDRO DE						
LA CUEVA	1157.00	80.99	12755.93	1282.83	1.67	0.81
SANTA ANA	1486.00	104.02	16383.15	1647.60	2.15	1.04
SANTA CRUZ	181.00	12.67	1995.53	200.68	0.26	0.13
SARIC	777.00	54.39	8566.43	861.50	1.12	0.55
SOYOPA	938.00	65.66	10341.45	1040.01	1.36	0.66
SUAQUI						
GRANDE	545.00	38.15	6008.63	604.27	0.79	0.38
TEPACHE	586.00	41.02	6460.65	649.73	0.85	0.41
TRINCHERAS	1064.00	74.48	11730.60	1179.71	1.54	0.75
TUBUTAMA	230.00	16.10	2535.75	255.01	0.33	0.16
URES	2473.00	173.11	27264.83	2741.94	3.57	1.74
VILLA HIDALGO	1089.00	76.23	12006.23	1207.43	1.57	0.76
VILLA						
PESQUEIRA	1379.00	96.53	15203.48	1528.97	1.99	0.97
YECORA	1802.00	126.14	19867.05	1997.97	2.60	1.27
TOTAL	142441.00	9970.87	1570412.03	157931.63	205.79	100.00

Tabla 11.6 Toneladas equivalentes de petróleo disponibles de residuos agrícolas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Producción t/año	Ratrojo t/año	CH ₄ t/año	tep/año	%
ACONCHI	9372.00	9418.43	22.86	95.01	0.01
AGUA PRIETA	10990.00	11039.61	26.72	2873.25	0.45
ALAMOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ALTAR	11620.00	12295.45	29.53	2973.77	0.46
ARIVECHI	5505.00	5514.48	13.38	1375.31	0.21
ARIZPE	13174.00	13193.86	32.03	3394.57	0.53
ATIL	1865.00	1962.82	4.76	468.00	0.07
BACADEHUACHI	4509.00	4509.00	10.68	1135.77	0.18
BACANORA	2300.00	2307.30	5.59	577.25	0.09
BACERAC	2062.00	2062.00	4.88	552.96	0.09
BACOACHI	4954.00	4988.15	12.05	1327.25	0.21
BACUM	164521.00	185941.49	444.68	42452.71	6.64
BANAMICHI	6927.00	6937.56	16.85	1831.00	0.29
BAVIACORA	6274.00	6293.70	15.28	1626.35	0.25
BAVISPE	1104.00	1111.30	2.68	287.99	0.05
BENITO JUAREZ	194149.00	219079.48	529.90	49414.90	7.72
BENJAMIN HILL	1214.00	1214.00	2.95	314.79	0.05
CABORCA	9529.00	10345.38	25.14	2396.92	0.37
CAJEME	531780.00	600461.01	1445.51	135975.39	21.25
CANANEA	1810.00	1810.00	4.40	472.05	0.07
CARBO	5688.00	5688.00	13.82	1477.41	0.23
CUCURPE	7087.00	7102.32	17.26	1795.38	0.28
CUMPAS	32953.00	32965.40	79.56	8292.24	1.30
DIVISADEROS	8799.00	8799.00	21.21	2195.71	0.34
EMPALME	4688.00	4712.07	11.44	1216.15	0.19
ETCHOJOA	262313.00	295978.80	716.20	66509.26	10.40
FRONTERAS	29035.00	29350.19	70.65	7658.56	1.20
GRANADOS	1277.00	1282.55	3.10	339.22	0.05
GUAYMAS	104900.00	116937.40	284.16	26507.52	4.14
HERMOSILLO	97337.00	103159.17	250.68	25116.05	3.93
HUACHINERAS	719.00	719.00	1.72	181.25	0.03
HUASABAS	943.00	948.25	2.29	256.49	0.04
HUATABAMPO	141014.00	159027.17	386.24	35577.18	5.56
HUEPAC	4992.00	5004.40	12.15	1301.34	0.20
IMURIS	5294.00	5296.63	12.87	1349.90	0.21

Tabla 11.6 Continuación

Municipio	Producción t/año	Ratrojo t/año	CH ₄ t/año	tep/año	%
LA COLORADA	16453.00	16453.00	39.69	4124.38	0.64
MAGDALENA	4640.00	4653.13	11.28	1189.13	0.19
MAZATAN	9299.00	9299.00	22.53	2333.18	0.36
MOCTEZUMA	9492.00	9501.92	22.85	2421.12	0.38
NACO	1800.00	1800.00	4.37	473.69	0.07
NACORI CHICO	8305.00	8305.00	19.52	2082.10	0.33
NACUZARI DE GARCIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NAVOJOA	474082.00	535372.89	1287.80	122304.13	19.12
NOGALES	4101.00	4101.00	9.97	1041.91	0.16
ONAVAS	4481.00	4481.00	10.75	1124.50	0.18
OPODEPE	15227.00	15289.36	37.12	3968.07	0.62
OQUITOA	1128.00	1142.66	2.78	290.56	0.05
PITQUITO	2572.00	2764.77	6.72	657.52	0.10
PLUTARCO ELIAS CALLES	5643.00	6330.06	15.38	1422.14	0.22
PUERTO PEÑASCO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QUIRIEGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RAYON	19330.00	19440.85	47.22	5053.42	0.79
ROSARIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAHUARIPA	9150.00	9174.81	22.24	2292.84	0.36
SAN FELIPE DE JESUS	3157.00	3165.75	7.68	832.47	0.13
SAN IGNACIO RIO MUERTO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN JAVIER	195.00	195.00	0.47	48.63	0.01
SAN LUIS RIO COLORADO	103464.00	116421.16	282.61	26227.06	4.10
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	8170.00	8170.00	19.85	2134.61	0.33
SAN PEDRO DE LA CUEVA	5688.00	5688.00	13.75	1429.58	0.22
SANTA ANA	16782.00	16782.00	40.78	4385.23	0.69
SANTA CRUZ	4597.00	4597.00	11.17	1176.88	0.18
SARIC	4403.00	4468.73	10.81	1139.70	0.18
SOYOPA	3999.00	3999.00	9.66	1006.25	0.16
SUAQUI GRANDE	1801.00	1801.00	4.33	461.17	0.07
TEPACHE	2279.00	2279.73	5.49	569.85	0.09
TRINCHERAS	9420.00	9911.74	24.09	2417.76	0.38
TUBUTAMA	26730.00	26743.40	64.99	6835.87	1.07
URES	30892.00	31121.22	75.47	8195.27	1.28
VILLA HIDALGO	1635.00	1638.94	3.97	437.65	0.07
VILLA PESQUEIRA	9400.00	9400.00	22.79	2347.35	0.37
YECORA	215.00	234.70	0.53	58.53	0.01
TOTAL	2509228.00	2772182.22	6691.89	639801.47	100.00

Tabla 11.7 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles totales anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Ganadería tep/año	Agricultura tep/año	RSU tep/año	Lodos tep/año	Org. Ind. tep/año	Total acces. Tep/año	%
ACONCHI	0.00	95.01	25.38	0.00	9.02	129.40	0.02
AGUA PRIETA	0.00	97.17	789.08	0.00	8.37	894.63	0.12
ALAMOS	0.00	0.00	246.77	0.00	47.44	294.21	0.04
ALTAR	635.49	1334.10	87.90	0.00	5.22	2062.71	0.28
ARIVECHI	0.00	18.58	11.43	0.00	0.41	30.42	0.00
ARIZPE	0.00	40.37	28.49	0.00	2.32	71.17	0.01
ATIL	0.00	193.16	5.34	0.00	5.05	203.55	0.03
BACADEHUACHI	0.00	0.00	11.35	0.00	5.62	16.97	0.00
BACANORA	0.00	14.29	7.22	0.00	0.14	21.65	0.00
BACERAC	0.00	0.00	14.34	0.00	3.57	17.91	0.00
BACOACHI	0.00	66.88	16.29	0.00	2.86	86.02	0.01
BACUM	2340.79	42442.81	222.74	0.00	2.34	45008.68	6.14
BANAMICHI	0.00	21.84	15.95	0.00	0.33	38.12	0.01
BAVIACORA	0.00	41.10	33.34	0.00	1.28	75.71	0.01
BAVISPE	0.00	14.29	14.16	0.00	10.07	38.51	0.01
BENITO JUAREZ	725.28	49414.90	213.27	0.00	1.81	50355.25	6.87
BENJAMIN HILL	0.00	0.00	49.00	0.00	2.15	51.15	0.01
CABORCA	1875.59	1612.47	820.35	0.00	3.36	4311.76	0.59
CAJEME	71896.68	135955.02	4024.28	0.00	7.39	211883.37	28.92
CANANEA	0.00	0.00	312.19	0.00	2.16	314.35	0.04
CARBO	290.23	0.00	53.60	0.00	1.78	345.61	0.05
CUCURPE	0.00	30.26	9.60	0.00	2.09	41.95	0.01
CUMPAS	0.00	24.36	61.92	0.00	4.27	90.55	0.01
DIVISADEROS	0.00	0.00	8.30	0.00	2.91	11.21	0.00
EMPALME	0.00	47.49	524.74	0.00	1.54	573.76	0.08
ETCHOJOA	1072.00	66509.26	591.56	0.00	2.30	68175.12	9.31
FRONTERAS	0.00	617.31	86.58	0.00	1.99	705.89	0.10
GRANADOS	0.00	10.86	11.55	0.00	0.14	22.55	0.00
GUAYMAS	1486.79	23777.22	1478.42	0.00	0.95	26743.38	3.65
HERMOSILLO	58778.38	11499.56	7821.50	4780.45	0.86	82880.75	11.31
HUACHINERAS	0.00	0.00	13.10	0.00	0.86	13.96	0.00
HUASABAS	0.00	10.29	9.22	0.00	4.16	23.67	0.00
HUATABAMPO	386.86	35577.18	764.66	0.00	1.04	36729.75	5.01
HUEPAC	0.00	24.83	11.10	0.00	2.28	38.21	0.01
IMURIS	0.00	5.14	124.40	0.00	0.96	130.51	0.02

Tabla 11.7 Continuación

Municipio	Ganadería tep/año	Agricultura tep/año	RSU tep/año	Lodos tep/año	Org. Ind. tep/año	Total acces. Tep/año	%
LA COLORADA	0.00	0.00	14.86	0.00	1.86	16.72	0.00
MAGDALENA	0.00	25.72	299.86	0.00	2.15	327.73	0.04
MAZATAN	0.00	0.00	12.37	0.00	3.96	16.33	0.00
MOCTEZUMA	0.00	19.43	45.60	0.00	2.17	67.21	0.01
NACO	0.00	0.00	61.73	0.00	1.67	63.40	0.01
NACORI CHICO	0.00	0.00	20.41	0.00	0.50	20.91	0.00
NACUZARI DE GARCIA	0.00	0.00	123.99	0.00	1.39	125.37	0.02
NAVOJOA	38105.84	122289.00	1545.45	601.00	7.14	162548.43	22.19
NOGALES	0.00	0.00	2202.37	216.97	2.56	2421.90	0.33
ONAVAS	0.00	0.00	3.70	0.00	0.90	4.60	0.00
OPODEPE	0.00	134.02	27.63	0.00	1.12	162.77	0.02
OQUITOA	0.00	28.91	4.32	0.00	1.22	34.45	0.00
PITQUITO	41.95	380.74	90.51	0.00	0.26	513.47	0.07
PLUTARCO ELIAS CALLES	0.00	1357.04	162.33	0.00	0.58	1519.95	0.21
PUERTO PEÑASCO	0.00	0.00	603.46	0.00	1.36	604.81	0.08
QUIRIEGO	605.73	0.00	32.16	0.00	6.84	644.73	0.09
RAYON	0.00	207.34	14.80	0.00	1.30	223.44	0.03
ROSARIO	302.77	0.00	48.65	0.00	2.60	354.02	0.05
SAHUARIPA	0.00	48.58	56.75	0.00	0.44	105.78	0.01
SAN FELIPE DE JESUS	0.00	18.15	4.14	0.00	1.57	23.86	0.00
SAN IGNACIO RIO MUERTO	151.48	0.00	136.25	0.00	1.36	289.09	0.04
SAN JAVIER	0.00	0.00	6.18	0.00	0.85	7.02	0.00
SAN LUIS RIO COLORADO	0.00	25703.32	1776.64	0.00	0.97	27480.93	3.75
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	24.70	0.00	91.80	0.00	0.00	116.50	0.02
SAN PEDRO DE LA CUEVA	0.00	0.00	15.72	0.00	0.22	15.95	0.00
SANTA ANA	0.00	0.00	156.84	0.00	0.79	157.63	0.02
SANTA CRUZ	0.00	0.00	19.56	0.00	1.99	21.55	0.00
SARIC	0.00	129.46	25.77	0.00	1.66	156.89	0.02
SOYOPA	0.00	0.00	12.08	0.00	0.27	12.35	0.00
SUAQUI GRANDE	0.00	0.00	10.32	0.00	1.19	11.51	0.00
TEPACHE	0.00	1.43	13.47	0.00	0.74	15.64	0.00
TRINCHERAS	0.00	975.10	16.21	0.00	1.24	992.55	0.14
TUBUTAMA	0.00	26.48	15.94	0.00	1.25	43.67	0.01
URES	379.83	470.96	88.81	0.00	0.24	939.85	0.13
VILLA HIDALGO	0.00	7.72	16.90	0.00	1.08	25.70	0.00
VILLA PESQUEIRA	0.00	0.00	11.06	0.00	1.05	12.11	0.00
YECORA	0.00	38.58	56.09	0.00	0.25	94.92	0.01
TOTAL	179100.39	521357.70	26363.87	5598.42	205.79	732626.16	100.00

Tabla 11.8 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de deyecciones ganaderas anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Establos lecheros		Corrales engorda		Granjas pocinas		Gallinas ponedoras		Total	
	TEP/año	%	TEP/año	%	TEP/año	%	TEP/año	%	TEP/año	%
ACONCHI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AGUA PRIETA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ALAMOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ALTAR	0.00	0.00	635.49	6.91	0.00	0.00	0.00	0.00	635.49	0.35
ARIVECHI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ARIZPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ATIL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACADEHUACHI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACANORA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACERAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACOACHI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BACUM	0.00	0.00	372.32	4.05	0.00	0.00	1968.47	8.00	2340.79	1.31
BANAMICHI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BAVIACORA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BAVISPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BENITO JUAREZ	0.00	0.00	119.55	1.30	0.00	0.00	605.73	2.46	725.28	0.40
BENJAMIN HILL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CABORCA	1219.39	10.07	656.20	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	1875.59	1.05
CAJEME	4053.58	33.48	4255.74	46.31	54501.81	40.92	9085.55	36.93	71896.68	40.14
CANANEA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CARBO	0.00	0.00	290.23	3.16	0.00	0.00	0.00	0.00	290.23	0.16
CUCURPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CUMPAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIVISADEROS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EMPALME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETCHOJOA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1072.00	4.36	1072.00	0.60
FRONTERAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GRANADOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GUAYMAS	0.00	0.00	805.23	8.76	0.00	0.00	681.56	2.77	1486.79	0.83
HERMOSILLO	6835.23	56.45	1734.50	18.87	45342.45	34.04	4866.20	19.78	58778.38	32.82
HUACHINERAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HUASABAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HUATABAMPO	0.00	0.00	0.00	0.00	386.86	0.29	0.00	0.00	386.86	0.22
HUEPAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IMURIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 11.8 Continuación

Municipio	Establos lecheros		Corrales engorda		Granjas pocinas		Gallinas ponedoras		Total	
	TEP/año	%	TEP/año	%	TEP/año	%	TEP/año	%	TEP/año	%
LA COLORADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAGDALENA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAZATAN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MOCTEZUMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NACO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NACORI CHICO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NACOZARI DE GARCIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NAVOJOA	0.00	0.00	84.94	0.92	32969.29	24.75	5051.62	20.53	38105.84	21.28
NOGALES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ONAVAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OPODEPE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OQUITOA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PITIKUITO	0.00	0.00	41.95	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	41.95	0.02
PLUTARCO ELIAS										
CALLES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PUERTO PEÑASCO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QUIRIEGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	605.73	2.46	605.73	0.34
RAYON	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ROSARIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	302.77	1.23	302.77	0.17
SAHUARIPA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN FELIPE DE JESUS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN IGNACIO RIO										
MUERTO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	151.48	0.62	151.48	0.08
SAN JAVIER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN LUIS RIO										
COLORADO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAN MIGUEL DE	0.00	0.00	24.70	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	24.70	0.01
SAN PEDRO DE LA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SANTA ANA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SANTA CRUZ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SARIC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOYOPA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SUAQUI GRANDE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TEPACHE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRINCHERAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TUBUTAMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
URES	0.00	0.00	169.59	1.85	0.00	0.00	210.25	0.85	379.83	0.21
VILLA HIDALGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VILLA PESQUEIRA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
YECORA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	12108.20	100.00	9190.44	100.00	133200.40	100.00	24601.35	100.00	179100.39	100.00

Tabla 11.9 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de la FORM anual y porcentaje por municipio

Municipio	RSU t/año	Fracción orgánica t/año	tep/año	%
ACONCHI	741.88	351.28	25.38	0.10
AGUA PRIETA	23068.85	10923.10	789.08	2.99
ALAMOS	7214.39	3416.01	246.77	0.94
ALTAR	2569.66	1216.73	87.90	0.33
ARIVECHI	334.02	158.16	11.43	0.04
ARIZPE	832.81	394.34	28.49	0.11
ATIL	156.10	73.91	5.34	0.02
BACADEHUACHI	331.92	157.16	11.35	0.04
BACANORA	211.03	99.92	7.22	0.03
BACERAC	419.17	198.48	14.34	0.05
BACOACHI	476.19	225.48	16.29	0.06
BACUM	6511.92	3083.39	222.74	0.84
BANAMICHI	466.21	220.75	15.95	0.06
BAVIACORA	974.73	461.53	33.34	0.13
BAVISPE	413.91	195.99	14.16	0.05
BENITO JUAREZ	6234.93	2952.24	213.27	0.81
BENJAMIN HILL	1432.52	678.30	49.00	0.19
CABORCA	23982.87	11355.89	820.35	3.11
CAJEME	117649.52	55707.05	4024.28	15.26
CANANEA	9126.78	4321.53	312.19	1.18
CARBO	1567.08	742.01	53.60	0.20
CUCURPE	280.67	132.90	9.60	0.04
CUMPAS	1810.17	857.11	61.92	0.23
DIVISADEROS	242.56	114.85	8.30	0.03
EMPALME	15340.69	7263.82	524.74	1.99
ETCHOJOA	17294.08	8188.75	591.56	2.24
FRONTERAS	2531.29	1198.57	86.58	0.33
GRANADOS	337.70	159.90	11.55	0.04
GUAYMAS	43221.40	20465.33	1478.42	5.61
HERMOSILLO	228661.23	108271.09	7821.50	29.67
HUACHINERAS	382.90	181.30	13.10	0.05
HUASABAS	269.63	127.67	9.22	0.03
HUATABAMPO	22354.82	10585.01	764.66	2.90
HUEPAC	324.56	153.68	11.10	0.04
IMURIS	3636.89	1722.07	124.40	0.47
LA COLORADA	434.41	205.69	14.86	0.06

Tabla 11.9 Continuación

Municipio	RSU t/año	Fracción orgánica t/año	tep/año	%
MAGDALENA	8766.48	4150.93	299.86	1.14
MAZATAN	361.61	171.22	12.37	0.05
MOCTEZUMA	1333.18	631.26	45.60	0.17
NACO	1804.65	854.50	61.73	0.23
NACORI CHICO	596.82	282.59	20.41	0.08
NACUZARI DE GARCIA	3624.80	1716.34	123.99	0.47
NAVOJOA	45181.10	21393.25	1545.45	5.86
NOGALES	64386.26	30486.90	2202.37	8.35
ONAVAS	108.27	51.27	3.70	0.01
OPODEPE	807.85	382.52	27.63	0.10
OQUITOA	126.41	59.85	4.32	0.02
PITQUITO	2646.13	1252.94	90.51	0.34
PLUTARCO ELIAS CALLES	4745.64	2247.06	162.33	0.62
PUERTO PEÑASCO	17642.03	8353.50	603.46	2.29
QUIRIEGO	940.30	445.23	32.16	0.12
RAYON	432.57	204.82	14.80	0.06
ROSARIO	1422.27	673.45	48.65	0.18
SAHUARIPA	1659.06	785.56	56.75	0.22
SAN FELIPE DE JESUS	121.15	57.36	4.14	0.02
SAN IGNACIO RIO MUERTO	3983.26	1886.07	136.25	0.52
SAN JAVIER	180.54	85.49	6.18	0.02
SAN LUIS RIO COLORADO	51940.05	24593.62	1776.64	6.74
SAN MIGUEL DE HORCASITAS	2683.71	1270.74	91.80	0.35
SAN PEDRO DE LA CUEVA	459.64	217.64	15.72	0.06
SANTA ANA	4585.33	2171.16	156.84	0.59
SANTA CRUZ	571.85	270.77	19.56	0.07
SARIC	753.45	356.76	25.77	0.10
SOYOPA	353.20	167.24	12.08	0.05
SUAQUI GRANDE	301.69	142.85	10.32	0.04
TEPACHE	393.94	186.53	13.47	0.05
TRINCHERAS	473.83	224.36	16.21	0.06
TUBUTAMA	465.94	220.62	15.94	0.06
URES	2596.46	1229.43	88.81	0.34
VILLA HIDALGO	494.06	233.94	16.90	0.06
VILLA PESQUEIRA	323.24	153.06	11.06	0.04
YECORA	1639.87	776.48	56.09	0.21
TOTAL	770746.15	364948.30	26363.87	100.00

Tabla 11.10 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de lodos de depuradora anual y porcentaje por municipio

Municipio	DBO (ton/año)	tep/año	%
ACONCHI	0.00	0.00	0.00
AGUA PRIETA	0.00	0.00	0.00
ALAMOS	0.00	0.00	0.00
ALTAR	0.00	0.00	0.00
ARIVECHI	0.00	0.00	0.00
ARIZPE	0.00	0.00	0.00
ATIL	0.00	0.00	0.00
BACADEHUACHI	0.00	0.00	0.00
BACANORA	0.00	0.00	0.00
BACERAC	0.00	0.00	0.00
BACOACHI	0.00	0.00	0.00
BACUM	0.00	0.00	0.00
BANAMICHI	0.00	0.00	0.00
BAVIACORA	0.00	0.00	0.00
BAVISPE	0.00	0.00	0.00
BENITO JUAREZ	0.00	0.00	0.00
BENJAMIN HILL	0.00	0.00	0.00
CABORCA	0.00	0.00	0.00
CAJEME	0.00	0.00	0.00
CANANEA	0.00	0.00	0.00
CARBO	0.00	0.00	0.00
CUCURPE	0.00	0.00	0.00
CUMPAS	0.00	0.00	0.00
DIVISADEROS	0.00	0.00	0.00
EMPALME	0.00	0.00	0.00
ETCHOJOA	0.00	0.00	0.00
FRONTERAS	0.00	0.00	0.00
GRANADOS	0.00	0.00	0.00
GUAYMAS	0.00	0.00	0.00
HERMOSILLO	15286.32	4780.45	85.39
HUACHINERAS	0.00	0.00	0.00
HUASABAS	0.00	0.00	0.00
HUATABAMPO	0.00	0.00	0.00
HUEPAC	0.00	0.00	0.00
IMURIS	0.00	0.00	0.00

Tabla 11.10 Continuación

Municipio	DBO (ton/año)		%
LA COLORADA	0.00	0.00	0.00
MAGDALENA	0.00	0.00	0.00
MAZATAN	0.00	0.00	0.00
MOCTEZUMA	0.00	0.00	0.00
NACO	0.00	0.00	0.00
NACORI CHICO	0.00	0.00	0.00
NACOSARI DE			
GARCIA	0.00	0.00	0.00
NAVOJOA	1921.80	601.00	10.74
NOGALES	693.79	216.97	3.88
ONAVAS	0.00	0.00	0.00
OPODEPE	0.00	0.00	0.00
OQUITOA	0.00	0.00	0.00
PITIQUITO	0.00	0.00	0.00
PLUTARCO ELIAS	0.00	0.00	0.00
PUERTO PEÑASCO	0.00	0.00	0.00
QUIRIEGO	0.00	0.00	0.00
RAYON	0.00	0.00	0.00
ROSARIO	0.00	0.00	0.00
SAHUARIPA	0.00	0.00	0.00
SAN FELIPE DE			
JESUS	0.00	0.00	0.00
SAN IGNACIO RIO			
MUERTO	0.00	0.00	0.00
SAN JAVIER	0.00	0.00	0.00
SAN LUIS RIO			
COLORADO	0.00	0.00	0.00
SAN MIGUEL DE			
HORCASITAS	0.00	0.00	0.00
SAN PEDRO DE LA			
CUEVA	0.00	0.00	0.00
SANTA ANA	0.00	0.00	0.00
SANTA CRUZ	0.00	0.00	0.00
SARIC	0.00	0.00	0.00
SOYOPA	0.00	0.00	0.00
SUAQUI GRANDE	0.00	0.00	0.00
TEPACHE	0.00	0.00	0.00
TRINCHERAS	0.00	0.00	0.00
TUBUTAMA	0.00	0.00	0.00
URES	0.00	0.00	0.00
VILLA HIDALGO	0.00	0.00	0.00
VILLA PESQUEIRA	0.00	0.00	0.00
YECORA	0.00	0.00	0.00
TOTAL	17901.91	5598.42	100.00

Tabla 11.11 Toneladas equivalentes de petróleo accesibles de residuos orgánicos industriales anuales y porcentaje por municipio

Municipio	Estiercol rastros ganado bovino				tep/año	%
	Ganado en pie t/año	Estiercol t/año	SV t/año	Kg CH ₄ /año		
ACONCHI	726.00	50.82	8004.15	804.95	1.05	0.51
AGUA PRIETA	5118.00	358.26	56425.95	5674.59	7.39	3.59
ALAMOS	2878.00	201.46	31729.95	3190.99	4.16	2.02
ALTAR	1447.00	101.29	15953.18	1604.36	2.09	1.02
ARIVECHI	959.00	67.13	10572.98	1063.29	1.39	0.67
ARIZPE	1495.00	104.65	16482.38	1657.58	2.16	1.05
ATIL	187.00	13.09	2061.68	207.34	0.27	0.13
BACADEHUACHI	841.00	58.87	9272.03	932.46	1.22	0.59
BACANORA	673.00	47.11	7419.83	746.19	0.97	0.47
BACERAC	941.00	65.87	10374.53	1043.33	1.36	0.66
BACOACHI	666.00	46.62	7342.65	738.43	0.96	0.47
BACUM	1603.00	112.21	17673.08	1777.33	2.32	1.13
BANAMICHI	1289.00	90.23	14211.23	1429.18	1.86	0.90
BAVIACORA	1577.00	110.39	17386.43	1748.50	2.28	1.11
BAVISPE	826.00	57.82	9106.65	915.83	1.19	0.58
BENITO JUAREZ	286.00	20.02	3153.15	317.10	0.41	0.20
BENJAMIN HILL	1377.00	96.39	15181.43	1526.75	1.99	0.97
CABORCA	6967.00	487.69	76811.18	7724.67	10.07	4.89
CAJEME	6240.00	436.80	68796.00	6918.61	9.02	4.38
CANANEA	1774.00	124.18	19558.35	1966.92	2.56	1.25
CARBO	593.00	41.51	6537.83	657.49	0.86	0.42
CUCURPE	723.00	50.61	7971.08	801.63	1.04	0.51
CUMPAS	1980.00	138.60	21829.50	2195.33	2.86	1.39
DIVISADEROS	598.00	41.86	6592.95	663.03	0.86	0.42
EMPALME	1488.00	104.16	16405.20	1649.82	2.15	1.04
ETCHOJOA	3615.00	253.05	39855.38	4008.14	5.22	2.54
FRONTERAS	1617.00	113.19	17827.43	1792.85	2.34	1.14
GRANADOS	511.00	35.77	5633.78	566.57	0.74	0.36
GUAYMAS	3889.00	272.23	42876.23	4311.93	5.62	2.73
HERMOSILLO	32833.00	2298.31	361983.83	36403.63	47.44	23.05
HUACHINERAS	868.00	60.76	9569.70	962.40	1.25	0.61
HUASABAS	858.00	60.06	9459.45	951.31	1.24	0.60
HUATABAMPO	3495.00	244.65	38532.38	3875.09	5.05	2.45
HUEPAC	622.00	43.54	6857.55	689.64	0.90	0.44
IMURIS	1503.00	105.21	16570.58	1666.45	2.17	1.06

Tabla 11.11 Continuación

Municipio	Ganado en pie t/año	Estiercol t/año	SV t/año	Kg CH ₄ /año	tep/año	%
LA COLORADA	2327.00	162.89	25655.18	2580.06	3.36	1.63
MAGDALENA	2742.00	191.94	30230.55	3040.20	3.96	1.93
MAZATAN	659.00	46.13	7265.48	730.67	0.95	0.46
MOCTEZUMA	1592.00	111.44	17551.80	1765.13	2.30	1.12
NACO	155.00	10.85	1708.88	171.86	0.22	0.11
NACORI CHICO	2015.00	141.05	22215.38	2234.13	2.91	1.41
NACUZARI DE						
GARCIA	748.00	52.36	8246.70	829.35	1.08	0.53
NAVOJOA	5795.00	405.65	63889.88	6425.21	8.37	4.07
NOGALES	1253.00	87.71	13814.33	1389.27	1.81	0.88
ONAVAS	402.00	28.14	4432.05	445.72	0.58	0.28
OPODEPE	1229.00	86.03	13549.73	1362.66	1.78	0.86
OQUITOA	166.00	11.62	1830.15	184.05	0.24	0.12
PITIQUITO	902.00	63.14	9944.55	1000.09	1.30	0.63
PLUTARCO ELIAS						
CALLES	346.00	24.22	3814.65	383.63	0.50	0.24
PUERTO						
PEÑASCO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QUIRIEGO	4940.00	345.80	54463.50	5477.23	7.14	3.47
RAYON	883.00	61.81	9735.08	979.03	1.28	0.62
ROSARIO	4735.00	331.45	52203.38	5249.94	6.84	3.32
SAHUARIPA	2959.00	207.13	32622.98	3280.79	4.27	2.08
SAN FELIPE DE						
JESUS	308.00	21.56	3395.70	341.50	0.44	0.22
SAN IGNACIO						
RIO MUERTO	1149.00	80.43	12667.73	1273.96	1.66	0.81
SAN JAVIER	171.00	11.97	1885.28	189.60	0.25	0.12
SAN LUIS RIO						
COLORADO	97.00	6.79	1069.43	107.55	0.14	0.07
SAN MIGUEL DE						
HORCASITAS	98.00	6.86	1080.45	108.66	0.14	0.07
SAN PEDRO DE						
LA CUEVA	1157.00	80.99	12755.93	1282.83	1.67	0.81
SANTA ANA	1486.00	104.02	16383.15	1647.60	2.15	1.04
SANTA CRUZ	181.00	12.67	1995.53	200.68	0.26	0.13
SARIC	777.00	54.39	8566.43	861.50	1.12	0.55
SOYOPA	938.00	65.66	10341.45	1040.01	1.36	0.66
SUAQUI						
GRANDE	545.00	38.15	6008.63	604.27	0.79	0.38
TEPACHE	586.00	41.02	6460.65	649.73	0.85	0.41
TRINCHERAS	1064.00	74.48	11730.60	1179.71	1.54	0.75
TUBUTAMA	230.00	16.10	2535.75	255.01	0.33	0.16
URES	2473.00	173.11	27264.83	2741.94	3.57	1.74
VILLA HIDALGO	1089.00	76.23	12006.23	1207.43	1.57	0.76
VILLA						
PESQUEIRA	1379.00	96.53	15203.48	1528.97	1.99	0.97
YECORA	1802.00	126.14	19867.05	1997.97	2.60	1.27
TOTAL	142441.00	9970.87	1570412.03	157931.63	205.79	100.00

11.2. Anexo 2

Artículo 17.- Las Centrales Eléctricas con capacidad mayor o igual a 0.5 MW y las Centrales Eléctricas de cualquier tamaño representadas por un Generador en el Mercado Eléctrico Mayorista requieren permiso otorgado por la CRE para generar energía eléctrica en el territorio nacional. Se requiere autorización otorgada por la CRE para importar energía eléctrica proveniente de una Central Eléctrica ubicada en el extranjero y conectada exclusivamente al Sistema Eléctrico Nacional. Las Centrales Eléctricas de cualquier capacidad que sean destinadas exclusivamente al uso propio en emergencias o interrupciones en el Suministro Eléctrico no requieren permiso. Los permisionarios y sus representantes están obligados al cumplimiento de las Reglas del Mercado. El permisionario o una persona distinta a él podrán representar total o parcialmente a cada Central Eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista, en los términos permitidos por las Reglas del Mercado.

Artículo 18.- Los Generadores que representen Centrales Eléctricas interconectadas al Sistema Eléctrico Nacional deberán:

- I. Celebrar los contratos de interconexión respectivos, emitidos por la CRE.
- II. Operar sus Centrales Eléctricas cumpliendo las instrucciones del CENACE.
- III. Sujetar el mantenimiento de sus Centrales Eléctricas a la coordinación y a las instrucciones del CENACE.
- IV. Notificar al CENACE los retiros programados de sus Centrales Eléctricas.

Artículo 19.- En relación con la producción de sus propias Centrales Eléctricas, los Generadores podrán realizar las actividades de comercialización a que se refiere el artículo 45 de la presente Ley, exceptuando la prestación del Suministro Eléctrico. Sobre dichas actividades no aplicarán ni la estricta separación legal, ni las reglas a que se refiere el artículo 8 de esta Ley, y se sujetarán al régimen jurídico aplicable a la Central Eléctrica correspondiente.

Artículo 20.- Los Generadores Exentos sólo podrán vender su energía eléctrica y Productos Asociados a través de un Suministrador o dedicar su producción al abasto aislado.

Artículo 21.- Los Generadores Exentos podrán vender energía eléctrica y Productos Asociados a través de un Suministrador de Servicios Básicos. Para estos casos, la CRE emitirá los modelos de contrato y metodologías de cálculo, criterios y bases para determinar y actualizar las contraprestaciones aplicables, que reflejarán el valor económico que produzca al Suministrador. Los Generadores Exentos también podrán vender energía eléctrica y Productos Asociados a través de un Suministrador de Servicios Calificados, siempre y cuando las Centrales Eléctricas no compartan su medición con el Centro de Carga de un Usuario de Suministro Básico.

Artículo 22.- Se entiende por abasto aislado la generación o importación de energía eléctrica para la satisfacción de necesidades propias o para la exportación, sin transmitir dicha energía por la Red Nacional de Transmisión o por las Redes Generales de Distribución. Los supuestos contenidos en

los artículos 23, 24 y 25 de esta Ley no constituyen transmisión de energía por la Red Nacional de Transmisión o por las Redes Generales de Distribución. Las Centrales Eléctricas podrán destinar toda o parte de su producción para fines de abasto aislado. Los Centros de Carga podrán satisfacer toda o parte de sus necesidades de energía eléctrica por el abasto aislado. El abasto aislado no se considera Suministro Eléctrico. El abasto aislado es una actividad de la industria eléctrica y se sujeta a las obligaciones de esta Ley. Se requiere autorización otorgada por la CRE para importar o exportar energía eléctrica en modalidad de abasto aislado.

Artículo 23.- Las Centrales Eléctricas que destinen parte de su producción para fines de abasto aislado podrán ser interconectadas a la Red Nacional de Transmisión o a las Redes Generales de Distribución para la venta de excedentes y compra de faltantes que resulten de su operación en modalidad de Generador o Generador Exento, siempre y cuando se celebre el contrato de interconexión correspondiente y se sujeten a las Reglas del Mercado y demás disposiciones aplicables.

Artículo 24.- Los Centros de Carga que satisfagan parte de sus necesidades de energía eléctrica mediante el abasto aislado podrán ser conectadas a la Red Nacional de Transmisión o a las Redes Generales de Distribución para la compra de energía eléctrica y Productos Asociados, en modalidad de Usuario de Suministro Básico, Usuario de Suministro Calificado o Usuario Calificado Participante del Mercado, siempre y cuando se celebre el contrato de conexión correspondiente y se sujeten a las Reglas del Mercado y demás disposiciones aplicables.

Artículo 25.- Los Generadores y Generadores Exentos están obligados a proporcionar, en la medida de sus posibilidades físicas, energía eléctrica y Servicios Conexos cuando por causas de emergencia se pongan o puedan ponerse en riesgo las instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional o el Suministro Eléctrico, cumpliendo las instrucciones del CENACE, únicamente por el lapso que dure dicha emergencia. En estos casos, los Generadores y Generadores Exentos tendrán derecho a recibir la contraprestación que les corresponda en los términos de las Reglas del Mercado.